

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

SANDRA SORAIA SILVA GOUVEIA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JULHO DE 2015

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2014/2015

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais

The only limit to our realization of tomorrow will be our doubts of today

Franklin D. Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esta dissertação, não posso deixar de manifestar o meu sincero agradecimento a todos os que, nos mais diversos níveis, contribuíram para a sua concretização.

Expresso o meu apreço à Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho, pela disponibilidade permanente, valorização científica, aconselhamento e simpatia, e em especial, pela confiança demonstrada durante todo o processo de realização deste trabalho.

À minha família, os meus pilares. Em especial aos meus pais, pelo apoio incondicional e compreensão demonstrados desde sempre. Pela tenacidade exemplar com que trabalham diariamente, tornando o impossível, possível.

À minha mana, aquela que foi a minha primeira amiga e meu primeiro exemplo, agradeço todos os conselhos silenciosos, todas as horas passadas a ouvir e incentivar, e principalmente, por se manter resiliente à minha teimosia.

Aos ‘meus’ pequeninos, que me mostram que é possível voltar a imaginar, acreditar, e sonhar, e trazem até mim o mundo imaginário.

Ao Rodrigo, pelo carinho, sorrisos, paciência e calma.

Por fim, gostaria de agradecer àqueles cuja amizade permanece nos momentos bons e menos bons, e em especial, aqueles que resistem às ausências. Um agradecimento especial ao A200, a minha casa longe de casa.

Aos que estão longe, mas permanentemente perto. Obrigada.

RESUMO

O crescimento populacional e desenvolvimento da sociedade são responsáveis por alterações permanentes e impactes no planeta. A exploração de recursos é uma das principais preocupações no desenvolvimento sustentável, que prevê equidade na importância dos valores sociais, económicos e ambientais em todas as atividades humanas.

Na construção sustentável, as preocupações ambientais estão presentes durante todo o ciclo de vida das construções. A seleção ponderada de materiais e tecnologias construtivas pode contribuir consideravelmente para uma melhoria no desempenho ambiental do ciclo de vida do edificado e, por conseguinte, para a sua sustentabilidade. A metodologia da Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica de gestão ambiental que permite quantificar os potenciais impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto.

Esta dissertação aborda a complexidade da aplicação generalizada da metodologia da ACV na indústria da construção, devido aos seus padrões de consumo, processos de produção, produtores, e produtos muito particulares e variados, através de uma análise crítica da metodologia na realidade da indústria da construção portuguesa.

Através da caracterização do edificado português, a reabilitação energética do edificado revela um papel importante na diminuição dos consumos energéticos praticados pelo setor habitacional, responsáveis por impactes ambientais muito expressivos.

A estratégia seguida no desenvolvimento da dissertação prevê a aplicação da metodologia de ACV à reabilitação energética de coberturas, com recurso ao estudo de várias soluções construtivas e de materiais de isolamento térmico.

É apresentado um estudo em intervenções de reabilitação generalizadas de coberturas de edifícios com vista no seu desempenho energético, através de uma seleção adequada de materiais de isolamento térmico relativamente ao impacto ambiental.

O estudo culmina com um caso de aplicação da metodologia de ACV ao ciclo de vida de um edifício unifamiliar, que prevê, não só a seleção de materiais de isolamento térmico, como também a influência da variação das suas espessuras no impacto ambiental incorporado e operacional do edifício.

PALAVRAS-CHAVE: Impactes Ambientais, Construção Sustentável, Análise do Ciclo de Vida, Reabilitação Energética, Coberturas.

ABSTRACT

The population growth and society development are responsible for permanent changes and impacts on the planet. The resources exploitation is one of the main concerns of the sustainable development, which predicts equity of the social, economic and sustainable values of the human activities.

In sustainable construction, the environmental concerns are present during all the life cycle of the buildings. The weighted selection of materials and construction technologies can significantly contribute to an improvement in the environmental performance of the building lifecycle and, consequently, for its sustainability. The Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental management technique that allows the quantification of the potential environment impacts associated with the life cycle of a product.

This dissertation addresses the complexity of the widespread application of LCA methodology in the construction industry due to their consumption patterns, production processes, producers, and very particular and varied products through a critical analysis of the methodology in the Portuguese reality of the construction industry.

Through the characterization of Portuguese edification, energy rehabilitation of buildings reveals an important role in reducing energy consumption practiced by the dwelling sector, responsible for very significant environmental impacts.

The strategy applied in the development of this dissertation foresees the application of the LCA methodology in the energetic rehabilitation of roof solutions, by means of studying construction solutions and thermal insulation materials.

It is presented a study on generalized rehabilitation interventions of building roofs, focusing their energy performance through a proper selection of thermal insulation materials considering their environmental impacts.

The study ends with an application case of the LCA methodology to the life cycle of a single family dwelling, studying not only a selection of thermal insulation materials, but also the influence of their thicknesses on environmental impact of the embodied and operational energy required by the building.

KEYWORDS: Environmental Impacts, Sustainable Construction, Life Cycle Assessment, Energetic Rehabilitation, Roofs

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE QUADROS	xvii
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xix

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA	1
1.2. DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS	1
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA	2

2. SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO	3
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	6
2.2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	6
2.2.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	11
2.2.2.1. Definição	11
2.2.2.2. Pilares da Construção Sustentável	12
2.3. IMPACTES AMBIENTAIS DO SECTOR DA CONSTRUÇÃO	14
2.3.1. ENQUADRAMENTO	14
2.3.2. ENERGIA CONSUMIDA NO EDIFÍCIO	15
2.3.2.1. Enquadramento	15
2.3.2.2. Energia Incorporada nos Materiais de Construção	16
2.3.2.3. Conceito de Energia	18
2.3.2.4. Energia Despendida na Fase de Operação	18
2.3.3. TOXICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	20

2.3.4. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)	22
2.3.4.1. Enquadramento e Legislação	22
2.3.4.2. Demolição, Desconstrução, Triagem e Reciclagem	23
2.4. MEDIDAS SUSTENTÁVEIS A APLICAR NA REABILITAÇÃO	24
2.4.1. REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL	24
2.4.2. ESTRATÉGIAS DE MINIMIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO CONFORTO DE EDIFÍCIOS	25

3. ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) E INSTRUMENTOS AMBIENTAIS

3.1. ENQUADRAMENTO	27
3.2. VIDA ÚTIL E DURABILIDADE	27
3.2.1. CONCEITO DE VIDA ÚTIL	27
3.2.2. DURABILIDADE	27
3.3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	29
3.3.1. DEFINIÇÕES E ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	29
3.3.2. ETAPAS DE REALIZAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	30
3.3.2.1. Enquadramento	30
3.3.2.2. Definição do objetivo e Âmbito	30
3.3.2.3. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)	31
3.3.2.4. Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)	32
3.3.2.5. Interpretação do Ciclo de Vida (ICV)	33
3.3.3. VARIANTES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	34
3.3.4. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DO CICLO DE VIDA (CCV)	35
3.3.5. FERRAMENTAS E BASES DE DADOS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	35
3.3.5.1. Generalidades	35
3.3.5.2. Software	35
3.3.5.3. Bases de Dados	37
3.3.6. METODOLOGIA PARA A QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES DE CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO	39
3.4. INSTRUMENTOS AMBIENTAIS E ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL	40
3.4.1. ENQUADRAMENTO	40
3.4.2. RÓTULOS ECOLÓGICOS	40
3.4.3. AUTO DECLARAÇÕES AMBIENTAIS	41
3.4.4. DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTOS	41

4. ANÁLISE CRÍTICA DA APLICABILIDADE DA ACV NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO	43
4.1. ENQUADRAMENTO	43
4.2. APLICABILIDADE DE SOFTWARE E BASES DE DADOS	44
4.3. LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS DE CICLO DE VIDA	45
4.3.1. DELIMITAÇÃO DE CONDIÇÕES DE FRONTEIRA E CONDIÇÕES ADMITIDAS	45
4.3.2. FIABILIDADE DOS INDICADORES DE IMPACTE AMBIENTAL E METODOLOGIA	46
5. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS	47
5.1. ENQUADRAMENTO	47
5.2. PARQUE EDIFICADO PORTUGUÊS	47
5.2.1. CARACTERIZAÇÃO E ESTADO DE CONSERVAÇÃO	47
5.2.2. COBERTURAS	49
5.2.3. SETOR ENERGÉTICO	51
5.3. COBERTURAS	53
5.3.1. ENQUADRAMENTO	53
5.3.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	53
5.3.3. COBERTURAS INCLINADAS	56
5.3.3.1. Revestimentos	57
5.3.3.2. Desvão	57
5.3.3.3. Localização do Isolamento Térmico	57
5.3.4. COBERTURAS PLANAS	58
5.3.4.1. Constituição dos Sistemas de Cobertura Plana	59
5.3.4.2. Classificação quanto à acessibilidade	61
5.3.4.3. Classificação quanto à camada de proteção da impermeabilização	62
5.3.4.4. Classificação quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização	62
5.3.4.5. Classificação quanto à localização da camada de isolamento térmico	62
5.3.4.6. Classificação quanto à pendente	64
5.3.4.7. Classificação quanto à estrutura resistente	64
5.4. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	64
5.4.1. ENQUADRAMENTO	64
5.4.2. CLASSE ENERGÉTICA	65
5.4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO TÉRMICO	65

5.4.3.1. Pontes Térmicas	65
5.4.3.2. Inércia Térmica	65
5.4.3.3. Ventilação Natural e Higrometria	66
5.4.4. SELEÇÃO EXIGENCIAL DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS.....	66

6. APLICAÇÃO DA ACV À REABILITAÇÃO DE COBERTURAS

6.1. ENQUADRAMENTO

6.2. METODOLOGIA DE ACV NA ANÁLISE GERAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

6.2.1. NOÇÕES INICIAIS

6.2.2. MODELO DE ACV E DEFINIÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

6.2.2.1. Considerações

6.2.2.2. Descrição dos Sistemas Construtivos para Coberturas Inclínadas.....

6.2.2.3. Descrição dos Sistemas Construtivos para Coberturas Planas

6.2.3. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

6.2.3.1. Objetivo.....

6.2.3.2. Unidade Funcional.....

6.2.3.3. Fronteira do Sistema.....

6.2.3.4. Categorias de Impacte Ambiental.....

6.2.4. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA.....

6.2.4.1. Estratégia de Recolha de Dados e *Input* de Dados

6.2.4.2. *Input* de Dados de Materiais.....

6.2.5. AVALIAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA.....

6.2.5.1. Princípio adotado para a Quantificação dos Impactes de Ciclo de Vida.....

6.2.5.2. Indicadores Ambientais.....

6.2.6. INTERPRETAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA.....

6.2.6.1. Observações Gerais

6.2.6.2. Coberturas Inclínadas

6.2.6.3. Coberturas Planas

6.2.6.4. Conclusões e Recomendações

6.3. ACV DE UM EDIFÍCIO HABITACIONAL: CASO DE APLICAÇÃO

6.3.1. MODELO DE ACV

6.3.2. DESCRIÇÃO GERAL DO CASO DE ESTUDO.....	90
6.3.3. DEFINIÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	91
6.3.4. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO	91
6.3.4.1. Objetivo.....	91
6.3.4.2. Unidade Funcional.....	91
6.3.4.3. Fronteira do Sistema	91
6.3.4.4. Categorias de Impacte Ambiental	92
6.3.5. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA	92
6.3.5.1. Recolha de Dados	92
6.3.5.2. Input de Dados dos Materiais de Cobertura.....	92
6.3.6. AVALIAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA (AICV).....	93
6.3.6.1. Princípio Adotado para a Quantificação dos Impactes do Ciclo de Vida	93
6.3.6.2. Cálculo dos Impactes do Ciclo de Vida.....	94
6.3.7. INTERPRETAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA	96
6.3.7.1. Observações Gerais.....	96
6.3.7.2. Interpretação de Resultados	96
6.3.7.3. Conclusões e Recomendações.....	100
7. CONCLUSÃO.....	103
7.1. CONCLUSÃO FINAL.....	103
7.2. CONCLUSÕES FINAIS SOBRE A ACV NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS	105
7.3. TRABALHOS FUTUROS	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

A. Anexos Erro! Marcador não definido.

A1. PORMENORES CONSTRUTIVOS DA ANÁLISE GERAL DE IMPACTE AMBIENTAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

A2. BASE DE DADOS DE ACV

A3. RESULTADOS DA ANÁLISE DE GERAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

A3.1. COBERTURAS INCLINADAS

A3.2. COBERTURAS PLANAS

A4. RESULTADOS DA ANÁLISE DE UM CASO DE APLICAÇÃO A UM EDIFÍCIO HABITACIONAL

A4.1. PORMENORES CONSTRUTIVOS

A4.2. FOLHA DE CÁLCULO REH

A4.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA (REH)

A4.4. RESULTADOS DA ACV

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Concentração atmosférica de dióxido de carbono em Mauna Loa [3]	3
Fig. 2.2 - Evolução do aumento da temperatura global média com o nível de concentração de CO ₂ atmosférico [1].....	4
Fig. 2.3 - Níveis de risco associados com as alterações climáticas e aumento de temperatura média global [3]	5
Fig. 2.4 Evolução da população urbana e rural em Portugal, e comparação europeia [10].....	6
Fig. 2.5 - Pegada ecológica por país acima da média mundial, per capita em 2010 [3]	7
Fig. 2.6 - Pilares do desenvolvimento sustentável, adaptado de [14].....	9
Fig. 2.7 - Ecossistemas mantêm as sociedades que geram economia [3].....	10
Fig. 2.8 - O donut de Oxfam [3].....	11
Fig. 2.9 - Evolução das preocupações na sustentabilidade da construção, adaptado de [20] [9] [13] [19]	12
Fig. 2.10 - Ciclo de vida das construções [8]	12
Fig. 2.11 - Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção, adaptado de [12] [19] [18].....	13
Fig. 2.12 - Impactes ambientais no ciclo de atividades da construção, adaptado de [8, p. 74] [18]	14
Fig. 2.13 - Modelo de sistematização dos impactes ambientais da construção [8] [18]	15
Fig. 2.14 - Emissões de carbono a nível mundial devidas à produção de energia, dados do <i>World Energy Outlook</i> de 2009, citado em [1]	16
Fig. 2.15 - Consumos energéticos associados ao ciclo de vida dos materiais de construção [20]	17
Fig. 2.16 - Energia utilizada na produção de vários isolamentos térmicos [1].....	19
Fig. 2.17 - Evolução das espessuras, em milímetros, dos isolamentos térmicos em coberturas, citado em [1].....	19
Fig. 2.18 - Valor médio do índice de toxicidade de isolamentos térmicos em caso de incêndio, adaptado de [1] [24].....	21
Fig. 3.1 - Fases da implementação da ACV na indústria da construção [2] [39]	30
Fig. 3.2 - Procedimentos simplificados para o ICV [37]	31
Fig. 3.3 - Elementos da fase da AICV, adaptado de [38] [40] [2] [18].....	32
Fig. 3.4 - Interpretação do ciclo de vida, relação entre fases de implementação da ACV [37]	33
Fig. 3.5 - Fases do ciclo de vida incluídas nas variantes da ACV [2] [18]	35
Fig. 5.1 – Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício [61].....	47

Fig. 5.2 - Estado de conservação por época de construção dos edifícios	48
Fig. 5.3 - Proporção de edifícios, em percentagem, segundo o tipo de utilização [62]	49
Fig. 5.4 - Distribuição de edifícios segundo o tipo de cobertura, por época de construção [61]	50
Fig. 5.5 - Proporção de tipos de cobertura para a totalidade dos edifícios [62]	50
Fig. 5.6 - Tipos de cobertura, por número de pisos	50
Fig. 5.7 - Necessidades de reparação na cobertura, por época de construção [62]	51
Fig. 5.8 - Curva de desempenho de um edifício ao longo da sua vida útil [65]	51
Fig. 5.9 - Consumo de energia final por setor de atividade, em Portugal [66]	52
Fig. 5.10 – A) Consumo de energia primária por fonte energética. B) Proporção de fontes renováveis no consumo de energia primária em Portugal. DGEG citado em [66].	52
Fig. 5.11 - Binómio utilizadores e necessidades com edifício e exigências funcionais, adaptado de [73].	54
Fig. 5.12 - Esquema estrutural da cobertura inclinada [77].....	56
Fig. 5.13 - Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão habitável [79] .	57
Fig. 5.14 - Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão não habitável [79]	58
Fig. 5.15 - Esquema de cobertura não acessível [81].....	61
Fig. 5.16 - Esquema de cobertura acessível a pessoas [81]	61
Fig. 5.17 - Esquema de cobertura acessível a veículos ligeiros ou pesados [81] [72]	61
Fig. 5.18 - Esquema de cobertura jardim [81]	62
Fig. 5.19 - Esquema de cobertura com isolamento térmico intermédio, cobertura tradicional, acessível a pessoas [81]	63
Fig. 5.20 - Esquema de cobertura invertida [81]	63
Fig. 5.21 - Esquema de cobertura com isolamento térmico aplicado sob a estrutura resistente [81] ..	63
Fig. 5.22 - Esquema de cobertura com isolamento térmico sobre teto falso [81]	64
 Fig. 6.1 - Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para reabilitação de soluções construtivas, adaptado de [92] [51].	70
Fig. 6.2 - Fronteira da escala física da avaliação, adaptado de [19] [95].....	75
Fig. 6.3 - Cálculo do indicador de impacte ambiental da solução construtiva	79
Fig. 6.4 – ICV para coberturas inclinadas: Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP) [kg Sb eq]....	81
Fig. 6.5 - ICV para coberturas inclinadas: Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO ₂ eq]	82
Fig. 6.6 - ICV para coberturas inclinadas: Potencial de Destruição da Camada de Ozono Estratosférico (ODP) [kg CFC-11 eq]	82

Fig. 6.7 - ICV para coberturas inclinadas: Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos (AP) [kg SO ₂ eq].....	83
Fig. 6.8 - ICV para coberturas inclinadas: Formação de Ozono Troposférico (POCP) [kg C ₂ H ₄ eq] ...	83
Fig. 6.9 - ICV para coberturas inclinadas: Eutrofização (EP) [kg PO ₄ eq]	83
Fig. 6.10 - ICV para coberturas inclinadas: Energia Não Renovável Incorporada (ENR) [Mj eq]	84
Fig. 6.11 - ICV para coberturas inclinadas: Energia Renovável Incorporada (ER) [Mj eq].....	84
Fig. 6.12 - ICV para coberturas planas: Esgotamento dos Recursos Abióticos (ADP) [kg Sb eq]	85
Fig. 6.13 - ICV para coberturas planas: Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO ₂ eq]	85
Fig. 6.14 - ICV para coberturas planas: Destruição da Camada de Ozono Estratosférico (ODP) [kg CFC-11 eq].....	85
Fig. 6.15 - ICV para coberturas planas: Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos (AP) [kg SO ₂ eq]	86
Fig. 6.16 - ICV para coberturas planas: Formação de Ozono Troposférico (POCP) [kg C ₂ H ₄ eq]	86
Fig. 6.17 - ICV para coberturas planas: Eutrofização (EP) [kg PO ₄ eq].....	86
Fig. 6.18 - ICV para coberturas planas: Energia Não Renovável Incorporada (ENR) [Mj eq].....	87
Fig. 6.19 - ICV para coberturas planas: Energia Renovável Incorporada (ER) [Mj eq]	87
Fig. 6.20 - Fronteira do sistema do edifício habitacional unifamiliar em estudo	92
Fig. 6.21 - ICV para edifício habitacional: Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP) [kg Sb eq].....	97
Fig. 6.22 - ICV para edifício habitacional: Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO ₂ eq]	97
Fig. 6.23 - Emissões de CO ₂ [ton/ano] durante a fase de utilização, calculadas pela aplicação do REH	98
Fig. 6.24 - ICV para edifício habitacional: Destruição da Camada de Ozono Estratosférico (ODP) [kg CFC-11 eq]	98
Fig. 6.25 - ICV para edifício habitacional: Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos (AP) [kg SO ₂ eq].....	98
Fig. 6.26 - ICV para edifício habitacional: Formação de Ozono Troposférico (POCP) [kg C ₂ H ₄ eq]....	99
Fig. 6.27 - ICV para edifício habitacional: Eutrofização (EP) [kg PO ₄ eq]	99
Fig. 6.28 - ICV para edifício habitacional: Utilização de Energia Primária Não Renovável (ENR) [MJ eq]	100
Fig. 6.29 - ICV para edifício habitacional: Utilização de Energia Primária Renovável (ER) [MJ eq] ..	100

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Contribuição dos GEE para o efeito de estufa, adaptado de [7]	4
Quadro 2.2 – Cronologia de alguns acontecimentos com importância no âmbito do desenvolvimento sustentável, adaptado de [1] [8] [7] [11]	7
Quadro 2.3 - Energia gasta e emissões de CO ₂ segundo o modo de transporte, adaptado de [22] [1].	18
Quadro 2.4 – Poluentes [24] [1] [7]	20
Quadro 2.5 - Lista europeia de resíduos, referentes a produtos provenientes de RCD's. Adaptado de [1] [25].	22
Quadro 3.1 - Valores mínimos para a durabilidade para os produtos e componentes da construção [32] [36] [31].	28
Quadro 3.2 - Vida útil de projeto requerida a alguns elementos de construção [32].	28
Quadro 3.3 - Categorias de impacto ambiental [2]	33
Quadro 3.4 - Variantes da ACV, adaptado de [2] [40] [18] [41]	34
Quadro 3.5- <i>Software</i> de ACV para indústria da construção, adaptado de [39] [44] [42] [18]	36
Quadro 3.6 - Autores e publicações que utilizam o software <i>SimaPro</i>	37
Quadro 3.7 - Principais bases de dados para estudos de ACV, [43] [52] [48]	38
Quadro 3.8 - Princípio a adotar para a quantificação dos impactos de ciclo de vida de um edifício, [2] [18].	39
Quadro 3.9 - Sistemas de rotulagem ambiental, adaptado de [7] [1].	40
Quadro 5.1 - Problemas correntes do parque habitacional português [64]	48
Quadro 5.2 - Classificação das exigências funcionais de coberturas inclinadas e em terraço, adaptado de [72] [74].	54
Quadro 5.3 - Classificação de coberturas [72] [80].	60
Quadro 5.4 - Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de coberturas, adaptado de [84].	67
Quadro 6.1 - Atribuição de materiais por função das camadas constituintes	71
Quadro 6.2 - Soluções estudadas de reabilitação energética de coberturas inclinadas	72
Quadro 6.3 – Soluções estudadas de substituição de telhas cerâmicas, para a simulação CI 2.	72
Quadro 6.4 - Soluções estudadas de reabilitação energética de coberturas planas	73
Quadro 6.5 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para elementos opacos, U _{ref} [W/(m ² .°C)], adaptado de [77].	76

Quadro 6.6 - Categorias de impacto ambiental utilizadas neste estudo, adaptado de [18].....	77
Quadro 6.7 - ICV de materiais de construção, baseado em [92]	78
Quadro 6.8 - Indicadores de impactos ambientais por categoria associados à produção de 1 kg de material, adaptado de [2] [18].	80
Quadro 6.9 - Áreas da Habitação Unifamiliar	90
Quadro 6.10 - Propriedades dos materiais utilizados nas coberturas	93
Quadro 6.11 - Princípio adotado para a quantificação dos impactos do ciclo de vida das soluções de reabilitação de cobertura da moradia unifamiliar	94
Quadro 6.12 - Valores de coeficiente de transmissão térmica utilizados nas simulações de desempenho energético do edifício habitacional	95
Quadro 6.13 - Intervalos de Rácio da Classe Energética (R_{NT}) para a determinação da classe energética em pré-certificado e certificado SCE de modelo tipo habitação [59]	96

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

CFC-11 – Triclorofluormetano

CH₄ – Metano

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

N – Azoto

N₂O – Óxido Nitroso

NH₃ – Amónia

NO_x – Óxido de Azoto

O₃ – Ozono

P – Fósforo

PO₄ – Fosfato

Sb – Antimónio

SO₂ – Dióxido de Enxofre

AICV – Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida

ACV – Análise do Ciclo de Vida

ADP – Potencial de Diminuição das Reservas de Recursos Abióticos

AP – Potencial de Acidificação

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

BEES – *Building for Environmental and Economic Sustainability*

BRE – *Building Research Establishment*

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*

CCV – Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida

CEN – Centro Europeu de Normalização

CFC – Clorofluorcarbonetos

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

CRISP – *Construction and City Related Sustainable Indicators*

DAP – Declaração Ambiental de Produto

DESA – Divisão das Nações Unidas para a População do Departamento dos Assuntos Económicos e Sociais

DGEG – Direcção-Geral de Energia e Geologia

ENDS – Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável

ENR – Energia Não-Renovável Incorporada

EP – Potencial de Eutrofização

EPD – *Environmental Product Declarations*

EPS – Poliestireno Expandido Moldado

ER – Energia Renovável Incorporada

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GWP – Potencial de Contribuição para Aquecimento Global

HQE – *Haute Qualité Environnementale*

IACV – Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida

ICB – Aglomerado de Cortiça Expandida

ICE – *Inventory of Carbon & Energy*

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISO – *International Organization for Standardization*

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

IUCN – *International Union for Conservation of Nature*

LCA – *Life Cycle Assessment*

LCC – *Life Cycle Cost*

LCI – *Life Cycle Inventory*

LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*

LER – Lista Europeia de Resíduos

LiderA – Liderar pelo Ambiente para a Construção Sustentável

LISA – *LCA in Sustainable Architecture*

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LWA – Argila Expandida (em grânulos)

MW – Lã Mineral

NABERS – *National Australian Built Environment Rating System*

NEEDS – *Nikkei Economic Electronic Databank System*

NR – Energia Não-Renovável Incorporada

NREL – *National Renewable Energy Laboratory*

OCDE – Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico

ODP – Potencial de Destruição da Camada de Ozono

ONU – Organização das Nações Unidas

OSB – *Oriented Strand Board*

PEC – *Primary Energy Consumption*

PI – Plano de Implementação

POCP – Potencial de Formação de Ozono Troposférico

PPG-RCD – Plano de Prevenção e Gestão de RCD

PUR – Espuma Rígida de Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinila

R – Energia renovável incorporada

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SCE – Sistema Certificação Energética dos Edifícios

UK – Reino Unido

UNEP – *United Nations Environment Programme*

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação a Ciência e a Cultura

USA – Estados Unidos da América

UV – Ultravioleta

VA – Vermiculite Expandida (em grânulos)

WWF – *World Wide Fund for Nature*

XPS – Espuma de Poliestireno Extrudido

eq – Equivalente

g – Gramas

gha – Hectare Global

I_t – Inércia Térmica [kg/m^2]

kg – Quilograma

km – Quilómetro

kWh – Quilowatt-hora

m – Metro

m^2 – Metro Quadrado

Mj – Megajoule

mm – Milímetros

Mtep – Milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo

N_t – Necessidades Nominais de Energia Primária Máximas [kWhep/(m².ano)]

N_{ic} – Necessidades Nominais de Energia Primária [kWhep/(m².ano)]

°C – Graus Celsius

ppm – Partes por Milhão

R – Resistência Térmica [m².°C/W]

R_{NT} – Rácio da Classe Energética

R_{se} – Resistência Térmica Exterior [m².°C/W]

R_{si} – Resistência Térmica Interior [m².°C/W]

ton – Tonelada

U – Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial [W/(m².°C)]

U_{ref} – Coeficientes de Transmissão Térmica Superficiais de Referência [W/(m².°C)]

W – Watt

λ – Condutibilidade Térmica [W/(m°C)]

ρ – Massa Volúmica Aparente Seca [kg/m³]

ψ – Coeficiente de Transmissão Térmica Linear da Ponte Térmica Linear [W/m.°C]

1

INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO DO TEMA

As atividades humanas, nas quais se insere a indústria da construção, acompanham o desenvolvimento impulsionado pelo crescimento populacional, recorrendo a forte exploração de recursos naturais para satisfação das necessidades humanas cada vez mais exigentes. Porém, os padrões de consumo intensivo de recursos, em especial recursos não-renováveis, são os principais influenciadores das alterações climáticas que estão a deixar marcas permanentes e irreversíveis no planeta Terra.

O setor da construção revela-se como uma das atividades que mais contribui para o impacto ambiental global, devido ao elevado nível de extração de matérias-primas não renováveis, de elevados consumos energéticos, e das consequentes emissões de gases de efeito de estufa.

A utilização adequada de materiais, produtos e tecnologias construtivas pode contribuir de forma decisiva para a redução da quantidade de energia consumida durante o ciclo de vida dos edifícios, melhorando o seu desempenho ambiental e por conseguinte, contribuindo para a criação de edifícios sustentáveis [1] [2].

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permite a avaliação dos impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto, através da quantificação de energia, materiais consumidos, e dos resíduos produzidos. É uma metodologia que possibilita a comparação de soluções construtivas do ponto de vista de impacto ambiental, que satisfaçam as mesmas exigências de desempenho [2].

A caracterização do parque edificado português revela grande potencial para o melhoramento do desempenho energético dos edifícios habitacionais em fase de operação. Como tal, a integração da ACV na reabilitação energética permite a comparação de soluções construtivas que proporcionem redução dos impactos ambientais do ciclo de vida de edifícios existentes.

1.2. DESCRIÇÃO DOS OBJETIVOS

A presente dissertação visa uma análise crítica da aplicabilidade da metodologia da ACV na indústria da construção, focando os seus procedimentos e limitações.

É pretendida, ainda, uma análise e comparação de performance ambiental do ciclo de vida de soluções construtivas de reabilitação energética de coberturas, que garantam o mesmo desempenho energético e estrutural, permitindo a extensão da vida útil de edifícios existentes. A análise é realizada focando a seleção de materiais de isolamento térmico, e o seu efeito no impacto ambiental previsto do ciclo de vida das soluções construtivas.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA

Esta dissertação relaciona três temáticas com âmbitos distintos, envolvendo questões ambientais, metodológicas e técnicas construtivas. A divisão por sete capítulos sugere o encadeamento lógico de definição e enquadramento de conceitos, e a relação entre as diversas temáticas abordadas.

O presente capítulo introduz a problemática a ser abordada e os objetivos propostos.

O capítulo 2 contextualiza os aspetos ambientais relacionados com a sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, incidindo nos impactes ambientais resultantes da indústria da construção. Aborda brevemente, ainda, medidas sustentáveis a aplicar na reabilitação energética de edifícios.

O capítulo 3 descreve os pressupostos da Avaliação do Ciclo de Vida, com especificação das fases e ferramentas de aplicação da metodologia. É ainda especificada a metodologia adotada na dissertação, e os instrumentos ambientais correntemente utilizados na análise do desempenho ambiental de produtos.

O capítulo 4 expõe uma análise crítica da metodologia da ACV onde são tecidas considerações sobre a sua aplicabilidade e limitações na indústria da construção.

O capítulo 5 caracteriza o parque edificado português e o seu estado de conservação, focando a importância da reabilitação dos edifícios. Insere-se também uma descrição e caracterização de soluções de cobertura, das suas classificações, exigências funcionais e influência na reabilitação energética de edifícios.

No capítulo 6 apresenta a aplicação da metodologia da ACV à reabilitação de coberturas, com a descrição dos estudos realizados. O primeiro refere-se a uma análise generalista de soluções de reabilitação energética de coberturas, e estudo do impacto ambiental segundo categorias de impacto ambiental das intervenções. O segundo estudo prevê a aplicação da ACV a uma moradia unifamiliar, e avalia os impactes ambientais da seleção de isolamentos térmicos na reabilitação de coberturas.

Por fim, o capítulo 7 transmite as conclusões finais, com os comentários, observações e análise geral dos resultados obtidos na dissertação.

2

SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO

2.1. ENQUADRAMENTO

“Cada parte do mundo natural e seus sistemas sociais e económicos interdependentes estão, ou serão afetados pelas alterações climáticas” é uma afirmação presente no *Living Planet Report*, publicado pela organização não-governamental *World Wide Fund for Nature* (WWF) [3], que coloca em perspetiva toda a interação económica, social e ambiental com as ações humanas e desenvolvimento sustentável.

A concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera é um dos problemas mais primordiais para as alterações climáticas, apresentando valores nunca antes alcançados, e com tendência a subir [1]. O *Living Planet Report* [3] apresenta dados da estação de medição contínua de CO_2 mais antiga do mundo situada em Mauna Loa (Hawaii), com valores preocupantes de concentrações deste elemento atmosférico, que atinge dados nunca antes registados em mais de um milhão de anos. Em termos numéricos, as primeiras medições deste elemento atmosférico em 1958 registavam 280 partes por milhão (ppm), sendo que na década atual estes valores já atingiram os 400 ppm.

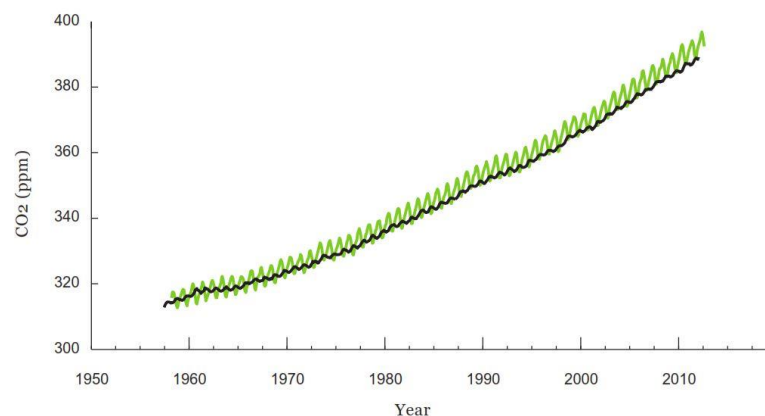


Fig. 2.1 – Concentração atmosférica de dióxido de carbono em Mauna Loa [3]

Importa salientar que, a nível nacional, entre 1990 e 2002 registaram-se valores ascendentes de emissões de CO_2 per capita, seguido de uma tendência de redução deste valor, em vista ao cumprimento das metas estabelecidas do Protocolo de Quioto (estabelecido em 1997). Portugal apresentava em 2010, valores de emissões abaixo das médias europeias [4].

Com os registos e evolução atuais das concentrações de CO₂ mundiais na atmosfera, e com os padrões de crescimento económico dos países menos desenvolvidos e mais populosos (nomeadamente a China e a Índia) é previsível que em 2050 as concentrações deste elemento atinjam os 550 ppm [1].

A concentração de CO₂ na atmosfera está intimamente relacionada com o aumento da temperatura global média que se tem presenciado. O aumento da temperatura, apesar de apresentar variações acentuadas a curto prazo, numa perspetiva geral acompanha o escalar de CO₂ atmosférico [1]. O *Living Planet Report* salienta que, mesmo que seja possível manter estáveis as concentrações de gases de estufa na atmosfera, a temperatura continuará a aumentar aproximadamente 0,6 °C durante o século XXI, sendo este valor adicionado ao aumento de 0,85°C já registados desde 1880 [3].

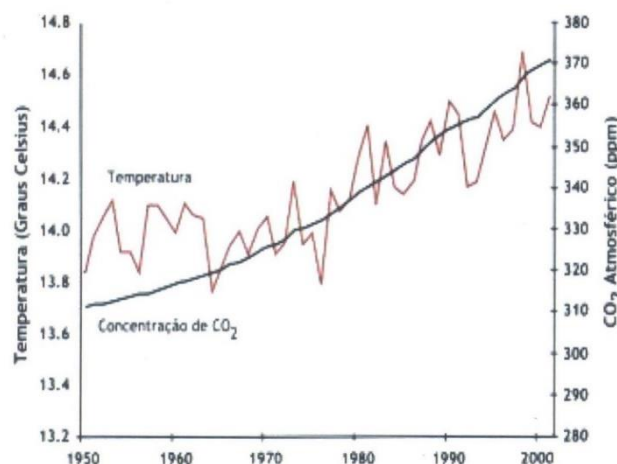


Fig. 2.2 - Evolução do aumento da temperatura global média com o nível de concentração de CO₂ atmosférico [1]

Na atmosfera, a radiação emitida pela terra é absorvida e reemitida pelos gases com efeito de estufa, como o CO₂, o ozono (O₃), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e os clorofluorcarbonetos (CFC's). Estes gases desempenham um papel importante no balanço energético da atmosfera da terra [5]. Quando ocorrem desequilíbrios nas concentrações de gases na atmosfera, nomeadamente do CO₂, é amplificada a absorção e cativoiro da radiação infravermelha pela atmosfera, resultando no aumento da temperatura global média do ar [1] [6].

Quadro 2.1 - Contribuição dos GEE para o efeito de estufa, adaptado de [7]

GEE	Contribuição para Efeito de Estufa	Exemplos de Fontes de Emissão Antropogénicas
CO ₂	60%	Combustíveis fósseis e destruição florestal
CH ₄	20%	Produção e consumo de energia, águas residuais, aterros sanitários,
N ₂ O	6%	Fertilização, queima de biomassa e combustíveis fósseis.
Outros Compostos	14%	Aerossóis, espumas expandidas e solventes.

O impacto do aumento global da temperatura pode ser medido em níveis de risco através de uma escalada de cores, dividido por cinco categorias que englobam os ecossistemas, eventos atmosféricos, distribuição espacial de impactes, impactes sociais e eventos singulares.

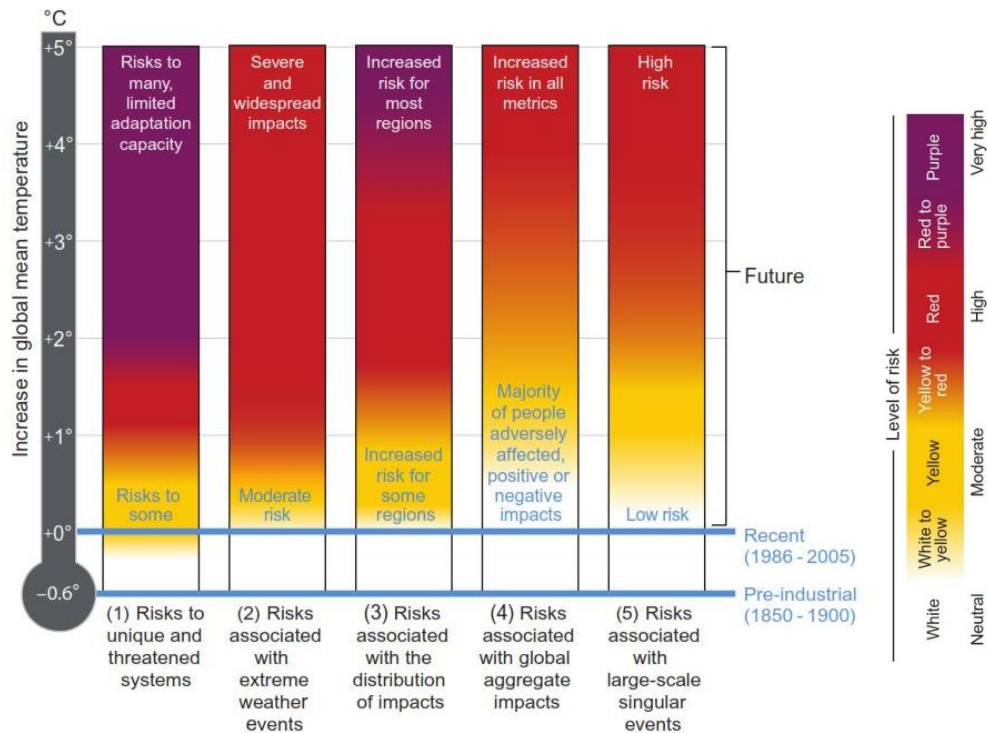


Fig. 2.3 - Níveis de risco associados com as alterações climáticas e aumento de temperatura média global [3]

Em níveis concretos, a subida da temperatura média do ar terá como resultado uma subida do nível médio do mar provocado pela dilatação térmica da água. Sem a contabilização exata do contributo do degelo das calotes polares resultante dos incrementos de temperatura, estima-se que o aumento do nível médio do mar poderá atingir os 0,59 metros entre o ano de 2007 e 2100. Um dos efeitos destes valores será a submersão de regiões costeiras, e a consequente perda de superfície terrestre com relocação de populações e atividades humanas [1].

Outra influência da temperatura na água do mar é a potencialização da ocorrência de fenómenos atmosféricos extremos, como períodos de seca fomentando a ocorrência de incêndios, ondas de calor e frio, chuvas torrenciais e furacões. Para estes últimos, Torgal apresenta dados que apontam para um crescimento de 40% de ocorrência de furacões para uma subida de apenas 0,5 °C na temperatura da água do mar. Outro efeito adverso da subida da temperatura média do ar é a expansão das áreas desertificadas [1].

A circulação termohalina, deslocação de massa oceânica por temperatura, salinidade e ação do vento desde os trópicos até aos polos, onde ocorre o arrefecimento da água e o aumento do nível de oxigénio no fundo do oceano, poderá ser interrompida com as alterações de temperatura. Advém deste fenómeno mudanças climáticas extremas, com consequências para a biodiversidade [1].

Para além das alterações climáticas, são ainda fatores de risco para a preservação da biodiversidade a elevada exploração de recursos e produção de resíduos resultantes da ação humana [1]. O crescimento populacional, o desenvolvimento económico e de qualidade do nível de vida das populações, e principalmente a dependência energética, resultam em impactes ambientais muito pronunciados [8].

Outro fator de risco para a biodiversidade encontra-se nos elevados índices de urbanização [1]. O relatório *World Urbanization Prospects* publicado em 2014 pela Divisão das Nações Unidas para a População do Departamento dos Assuntos Económicos e Sociais (DESA) divulga que 54% da população mundial reside em áreas urbanas, e estima que a população urbana mundial ultrapasse os seis mil

milhões em 2045 [9]. Em Portugal, já existe maior número de habitantes urbanos que rurais, tendência esta que tende a crescer até 2050 [10].

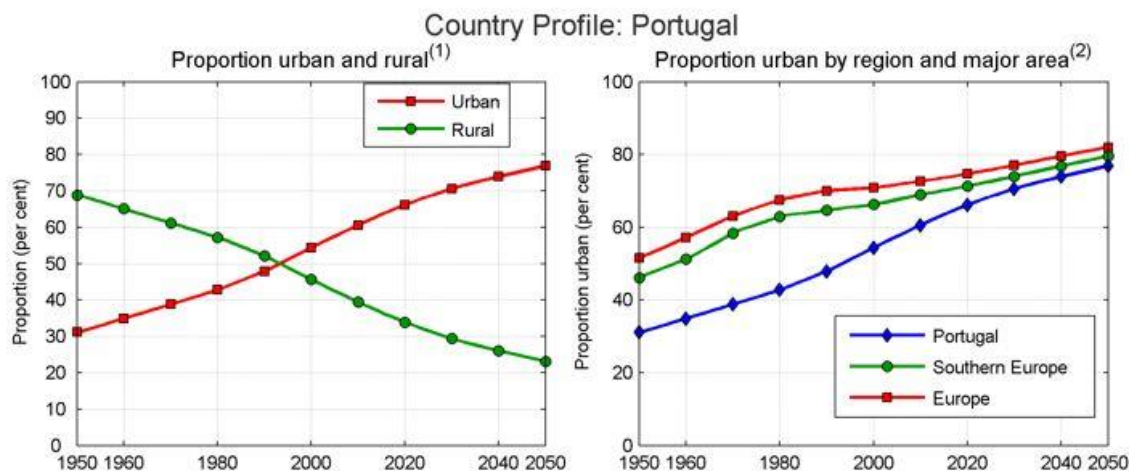


Fig. 2.4 Evolução da população urbana e rural em Portugal, e comparação europeia [10]

É possível então sintetizar o princípio básico para a minimização dos impactes ambientais da atividade humana, através da limitação da produção de gases de efeito de estufa (GEE), como as emissões de dióxido de carbono.

2.2. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

2.2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A noção generalizada de desenvolvimento sustentável surge com a consciência de que o desenvolvimento económico estaria intimamente relacionado com o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida das populações mundiais. A primeira definição de desenvolvimento sustentável é apresentada em 1987 no Relatório *Our common future*, nosso futuro comum, ou ainda Declaração de Brundtland, como o desenvolvimento que “*permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas*”. O conceito de sustentabilidade torna-se um termo generalista, com inúmeras definições complexas, mas concentra-se essencialmente no equilíbrio entre o bem-estar humano e os impactes consequentes da sua presença [1].

É importante ainda elucidar o conceito de impacte ambiental, definido por Pinheiro [8] como um “*conjunto de alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar*”.

Intimamente relacionado com a ideia de sustentabilidade encontra-se o conceito de pegada ecológica, que pode ser definida como a superfície terrestre, expressa em hectare global (gha), necessária para gerar recursos e absorver os resíduos de um indivíduo, ou edifício [1]. Este indicador é comparado com a bio capacidade terrestre, entendida como a quantidade de terra ou mar biologicamente produtiva disponível para fornecer as necessidades humanas, ou mais simplificada, a capacidade dos ecossistemas de produzir materiais biológicos úteis para absorver dióxido de carbono e resíduos humanos. [3]

A organização não-governamental *World Wide Fund for Nature* (WWF), publica no *Living Planet Report* dados preocupantes sobre os padrões de consumo e excessiva produção de resíduos dos países mundiais, encontrando-se Portugal acima da média mundial de valores de pegada ecológica. A parcela mais representativa de atividade poluente portuguesa é a produção de carbono, associada à produção excessiva de dióxido de carbono (CO₂) [3]. Segundo Torgal [1], estas emissões provêm maioritariamente da queima de combustíveis fósseis para produção de energia.

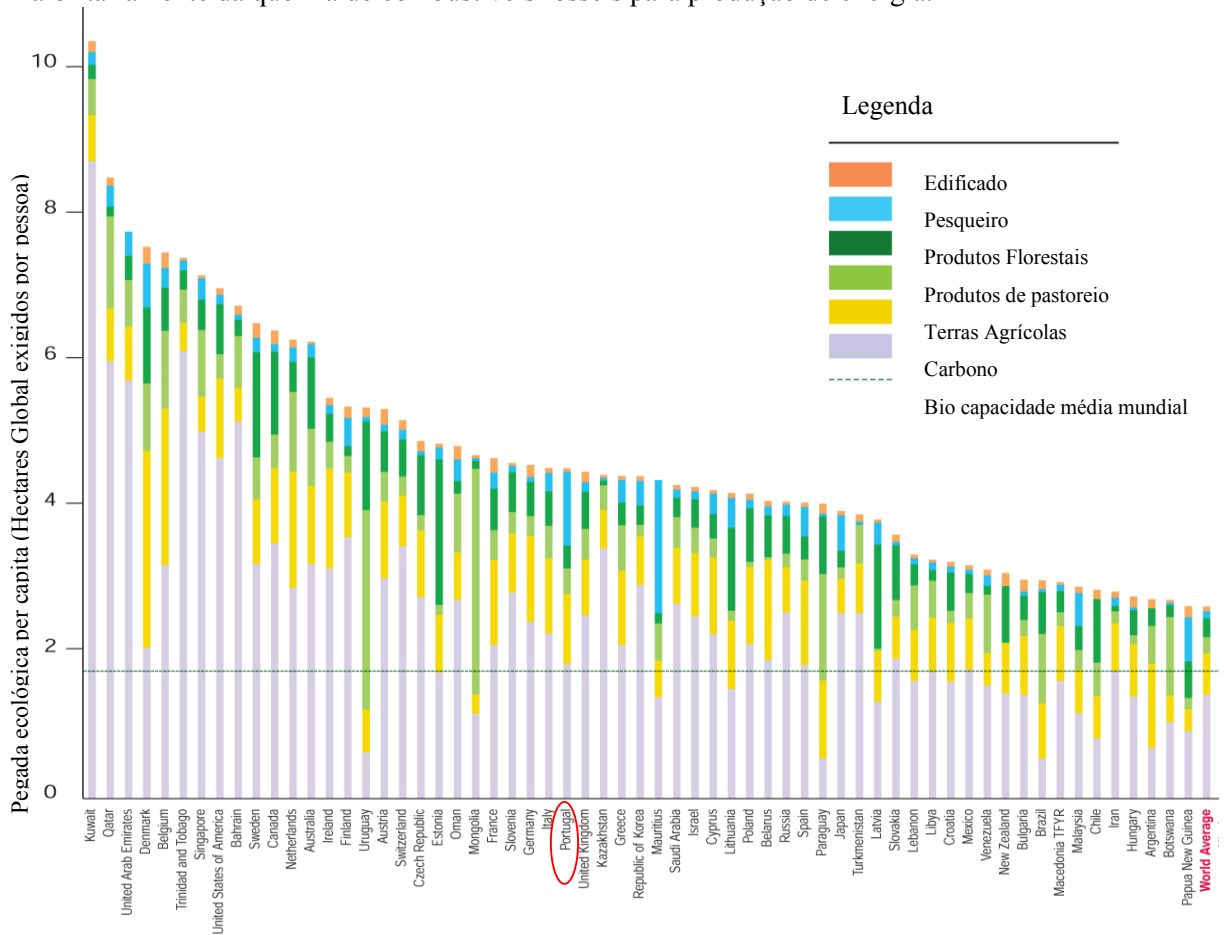


Fig. 2.5 - Pegada ecológica por país acima da média mundial, per capita em 2010 [3]

O quadro seguinte sumariza alguns acontecimentos mundiais relevantes para o desenvolvimento sustentável, e na consciencialização para esta temática.

Quadro 2.2 – Cronologia de alguns acontecimentos com importância no âmbito do desenvolvimento sustentável, adaptado de [1] [8] [7] [11]

Ano	Acontecimento
1962	Livro <i>A Primavera Silenciosa</i> , pela bióloga Rachel Carson.
1972	Conferência sobre o meio humano das Nações Unidas em Estocolmo, e criação do programa das Nações Unidas para o meio ambiente (UNEP).
	Relatório <i>Os Limites do Crescimento</i> pelo Clube de Roma.
1979	Convenção de Berna sobre a proteção dos Habitats.
	Convenção de Genebra sobre a poluição do ar.

Ano	Acontecimento
1980	Documento estratégico sobre a conservação da natureza, pela Organização das Nações Unidas (ONU), Organização das Nações Unidas para a Educação a Ciência e a Cultura (UNESCO), <i>World Wide Fund for Nature</i> (WWF) e <i>International Union for Conservation of Nature</i> (IUCN).
	Relatório Global 2000.
1983	Protocolo das Nações Unidas sobre a Qualidade do ar em Helsínquia.
	Comissão das Nações Unidas sobre ambiente e desenvolvimento.
1987	Relatório Brundtland ou <i>Our Common Future</i> .
	Protocolo de Montreal sobre as substâncias que contribuem para a redução da camada de Ozono.
1990	Relatório da União Europeia sobre Ambiente urbano.
1992	Cimeira da Terra (Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento), Rio de Janeiro.
1994	Primeira Conferência Europeia das Cidades e Vilas Sustentáveis, em Aalborg onde foi aprovada a “Carta das Cidades Europeias para a Sustentabilidade” (Carta de Aalborg).
	Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, em Tampa (Florida), onde foi referido pela primeira vez o conceito de construção sustentável.
1996	Segunda Conferência Europeia das Cidades e Vilas Sustentáveis, em Lisboa, onde foi aprovado o Plano de Ação de Lisboa: da Carta à Ação, que teve como objetivo criar redes de autoridades locais para dinamizar processos de Agenda 21 Local.
1997	Conferência de Quioto sobre aquecimento global, Protocolo de Quioto.
2000	Terceira Conferência das Cidades e Vilas Sustentáveis, em Hannover.
	A norma ISO 14001 é adotada como padrão internacional para a gestão ambiental de empresas.
2002	Convenção de Joanesburgo, com a publicação de dois documentos: a Declaração de Joanesburgo em Desenvolvimento Sustentável e o Plano de Implementação (PI).
2003	Nova Carta de Atenas, pelo Conselho Europeu de Urbanistas que visa orientar o planeamento estratégico do território e urbanismo para garantir um desenvolvimento sustentável.
2004	Quarta Conferência das Cidades e Vilas Sustentáveis, aprovados os 10 compromissos na Conferência Aalborg +10.
	O <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC) publica o 4º relatório de progresso.
2007	Filme <i>Uma Verdade Inconveniente</i> de Al Gore.
	Prémio Nobel da paz para Al Gore e <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> .
	Carta de Leipzig sobre as cidades europeias sustentáveis.
2009	Conferência de Copenhaga sobre alterações climáticas.
2012	Conferência de Rio de Janeiro sobre desenvolvimento sustentável.

Ano	Acontecimento
2014	O <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (IPCC) publica o 5º relatório de progresso, englobando o relatório sobre mitigação das alterações climáticas e o relatório sobre impactes, adaptação e vulnerabilidade

Desde a Declaração de Brundtland em 1987 até à conferência do Rio de Janeiro de 1992, as estratégias de ações e preocupações ambientais passam de um paradigma de controlo da poluição para um princípio de precaução, onde é abordada a prevenção e redução da poluição na fonte. Os documentos produzidos, incluindo a Agenda 21 preconizado como um dos instrumentos de implementação da Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), estabelecem recomendações e referências com vista no desenvolvimento sustentável a serem iniciados até ao início do século XXI [8] [12].

A conferência de Copenhaga realizada em 2009 ficou marcada pelo desacordo nas negociações entre líderes internacionais na diplomacia relativamente ao clima, com resultados pouco eficientes em relação aos pressupostos esperados. No entanto, foi possível redigir o Acordo de Copenhaga, com propostas de compromisso na redução ou limitação de gases com efeito de estufa pelos principais países emissores [13]. Na sequência desta conferência, a união europeia estabeleceu a redução de 20% das suas emissões até 2020, tendo por base as emissões de 1990.

A Rede Natura 2000 é um dos instrumentos europeus criados para assegurar a biodiversidade através da conservação da fauna e flora selvagens. Em Portugal, esta medida contribuiu para um aumento de áreas protegidas em 14,1% entre 2001 e 2010 [1].

Voltando à temática do desenvolvimento sustentável, em Portugal foi desenvolvida a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), aprovada na Resolução do Conselho de Ministros n.º109/2007 [14] para o período de 2005 a 2015, com um conjunto de atuações baseadas nos pilares do desenvolvimento sustentável.

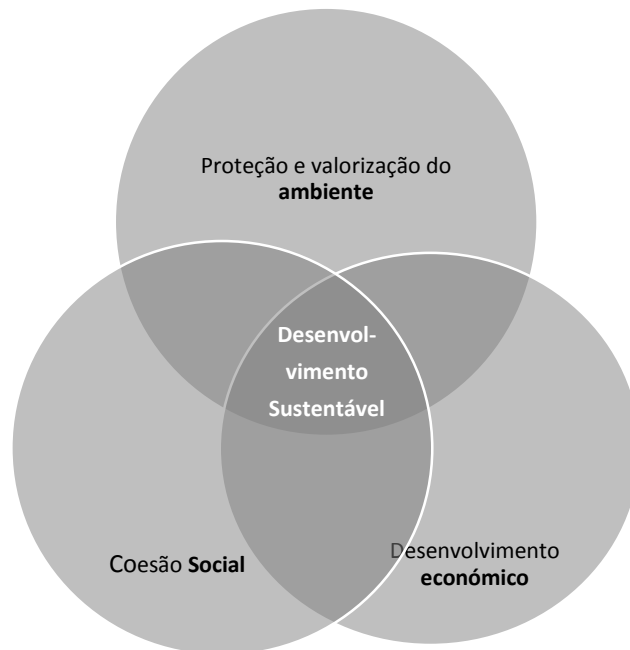


Fig. 2.6 - Pilares do desenvolvimento sustentável, adaptado de [14].

Esta estratégia centra-se em sete objetivos, respondendo de forma equilibrada aos pilares do desenvolvimento sustentável [14]:

- Preparar Portugal para a sociedade do conhecimento
- Crescimento sustentado, competitividade à escala global e eficiência energética
- Melhor Ambiente e valorização do património
- Mais equidade, igualdade de oportunidades e coesão social
- Melhor conectividade internacional do país e valorização equilibrada do território
- Um papel ativo de Portugal na construção europeia e na cooperação internacional
- Uma administração pública mais eficiente e modernizada

Focando a valorização ambiental e o setor da construção civil, Portugal apresenta diversos condicionalismos ao desenvolvimento sustentável e à implementação da estratégia nacional, nomeadamente [1]:

- Ineficaz gestão de resíduos
- Património natural e biodiversidade em risco
- Dependência energética excessiva
- Deficiente gestão de resíduos hídricos
- Elevados níveis de emissões de gases responsáveis pelo efeito de estufa

O diploma legal em vigor em Portugal, a Lei n.º 19/2014 de 14 de Abril, define as bases da política de ambiente através de princípios materiais e políticas públicas para a atuação em matéria de ambiente [15].

Ainda importa referir o plano para Portugal 2020 tratando-se de um acordo de parceria entre Portugal e a União Europeia no qual se define a política de desenvolvimento económico, social e territorial para promover o desenvolvimento sustentável, entre 2014 e 2020 alinhados com o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo [16].

As dimensões ambientais, sociais e económicas do desenvolvimento sustentável apontam uma equidade de apreço entre todas as vertentes, no entanto a componente económica continua a ser a mais desenvolvida com pouca ponderação para os custos para o meio ambiente. É necessário ter presente que o desenvolvimento sustentável prende-se com a noção de que os ecossistemas mantêm as sociedades que geram economia. A sustentabilidade social e económica só é viável com um planeta saudável [3].

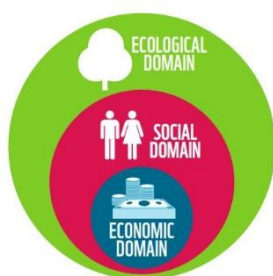


Fig. 2.7 - Ecossistemas mantêm as sociedades que geram economia [3]

Outro conceito interessante é o *donut de Oxfam*, que representa o espaço seguro e justo para a humanidade através de uma economia incluída e sustentável. É seguro na medida em que evita cruzar pontos de rutura ambientais que poderiam fazer a Terra inóspita para a humanidade, e é justo por garantir que cada pessoa alcance certos padrões de saúde, riqueza, poder e participação. O conceito passa pela distribuição de poder, saúde e recursos pela população com mais necessidades, e focar o desenvolvimento e crescimento onde este é mais essencial. Fora do donut encontram-se os pontos

ambientais mais suscetíveis, ou seja, que se encontram acima dos limites do planeta, ou teto ambiental. No espaço interior do donut encontram-se os fundamentos sociais essenciais, os princípios que a sociedade não pode ser privada [3].

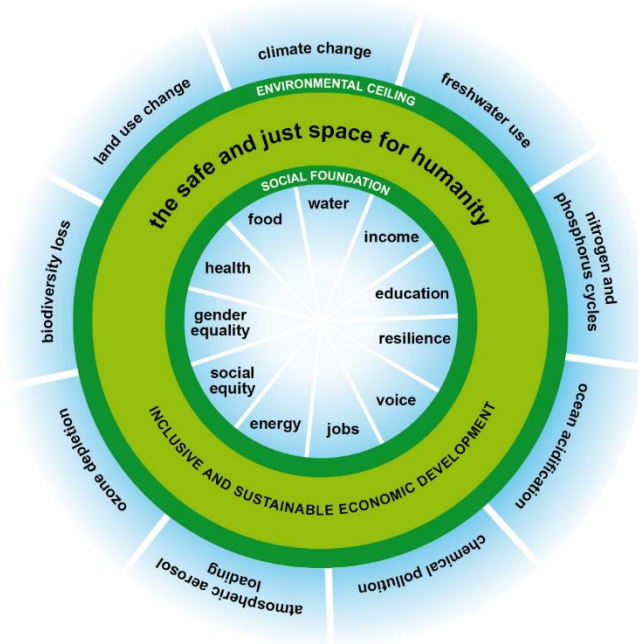


Fig. 2.8 - O donut de Oxfam [3]

2.2.2. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

2.2.2.1. Definição

O conceito de construção sustentável foi proferido pela primeira vez na Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, por Charles Kibbert como a “*criação e o planeamento responsável de um ambiente construído saudável, com base na otimização dos recursos naturais disponíveis e em princípios ecológicos*” e apresentou os princípios inaugurais para a construção sustentável aplicáveis durante todo o ciclo de vida da construção [1] [17] [18]:

- Reduzir – Redução do consumo de recursos
- Reutilizar – Aumento da reutilização de recursos
- Reciclar – Utilização de materiais recicláveis e reciclados
- Natureza – Proteção do ambiente natural
- Resíduos Tóxicos – Criação de um ambiente saudável e não tóxico na construção
- Qualidade – Assegurar a qualidade
- Economia – Aplicação de análises de ciclo de vida em termos económicos

O grupo de investigação *Construction and city related sustainable indicators* (CRISP) afirma ainda que “*com a construção sustentável pretende-se que os produtos da indústria da construção satisfaçam os necessários requisitos funcionais com o menor impacte ambiental possível, enquanto promovem melhorias a nível económico, social e cultural à escala local, regional e global*” enfatizando não só o impacte ambiental das construções, como o conforto e a qualidade de vida dos utilizadores [18].

Outra definição suportada desta vez pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), considera um edifício sustentável aquele que procura uma utilização racional de recursos

naturais, apostando na qualidade da envolvente interior e exterior, com minimização de impactos sobre o ambiente e redução do consumo de energia [18] [7].

Para incorporar na construção os princípios expostos por Kibbert, a mentalidade de construção tradicional voltada para os fatores de custo, qualidade e tempo, sofreria uma modernização passando a incorporar aspetos relacionados com a qualidade ambiental, surgindo assim a construção eco eficiente. Esta, também denominada construção verde ou ecológica, é caracterizada pela inclusão de preocupações no consumo de recursos naturais, na produção de resíduos e emissões de gases poluentes prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas, bem como na conservação da biodiversidade [19].

A construção sustentável parte dos princípios da construção eco eficiente, e acrescenta os condicionamentos económicos, a qualidade de vida do ambiente construído, a equidade social e legado cultural. Estas novas vertentes também podem ser entendidas como as três dimensões da construção sustentável [12] [19] [18] [8].

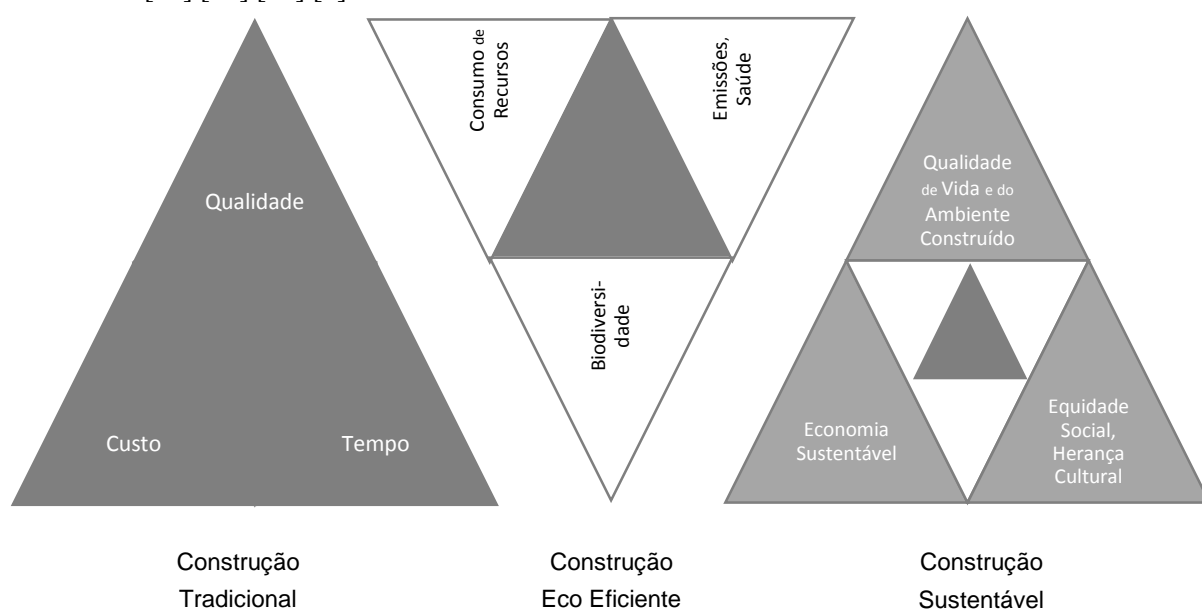


Fig. 2.9 - Evolução das preocupações na sustentabilidade da construção, adaptado de [20] [9] [13] [19]

2.2.2.2. Pilares da Construção Sustentável

É possível afirmar que, atualmente, a construção já aciona os pilares do desenvolvimento sustentável apresentados na Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS), relativamente à proteção e qualidade ambiental, social, e desenvolvimento económico.

O ciclo construtivo tradicional funciona como um ciclo aberto, iniciando-se na conceção e projeto onde são definidos os materiais a extrair da natureza para utilizar na construção, a construção propriamente dita com a mobilização de todos os produtos e equipamentos para a edificação da infraestrutura, seguida da operação e utilização com exploração de recursos energéticos e produção de resíduos inerentes à atividade humana, inserindo-se as operações de manutenção nesta fase. Por fim, para encerrar o ciclo, encontra-se a desativação que inclui a demolição ou desconstrução e deposição de materiais novamente na natureza [12].



Fig. 2.10 - Ciclo de vida das construções [8]

Por sua vez, a construção sustentável é caracterizada pela implementação de um ciclo fechado, com máximo benefício da reutilização, renovação ou reciclagem [12]:

- Reutilização do edifício ou com ligeiras modificações (arquitetura aberta)
- Reutilização do edifício reabilitado
- Reutilização de componentes do edifício (desconstrução)
- Reutilização dos materiais de construção (noutros edifícios, em aterros de estradas)
- Demolição e remoção a vazadouro.

São descritas, por Mateus [18], as prioridades que podem ser consideradas os pilares da construção sustentável, com base nos princípios já acima descritos, abrangendo a perspetiva social, económica e ambiental inerentes à construção sustentável:

- Economizar energia e água
- Maximizar a durabilidade
- Minimizar a produção de resíduos
- Assegurar a salubridade dos edifícios
- Utilizar materiais eco eficientes
- Diminuir o peso, massa de construção
- Planear a conservação e a reabilitação
- Garantir condições de higiene e segurança no trabalho
- Minimizar os custos de ciclo de vida

Os princípios interagem com as diferentes fases do ciclo de vida da construção sustentável, tanto para infraestrutura nova como para intervenção de reabilitação, sumariando-se na figura 2.11 [19]:

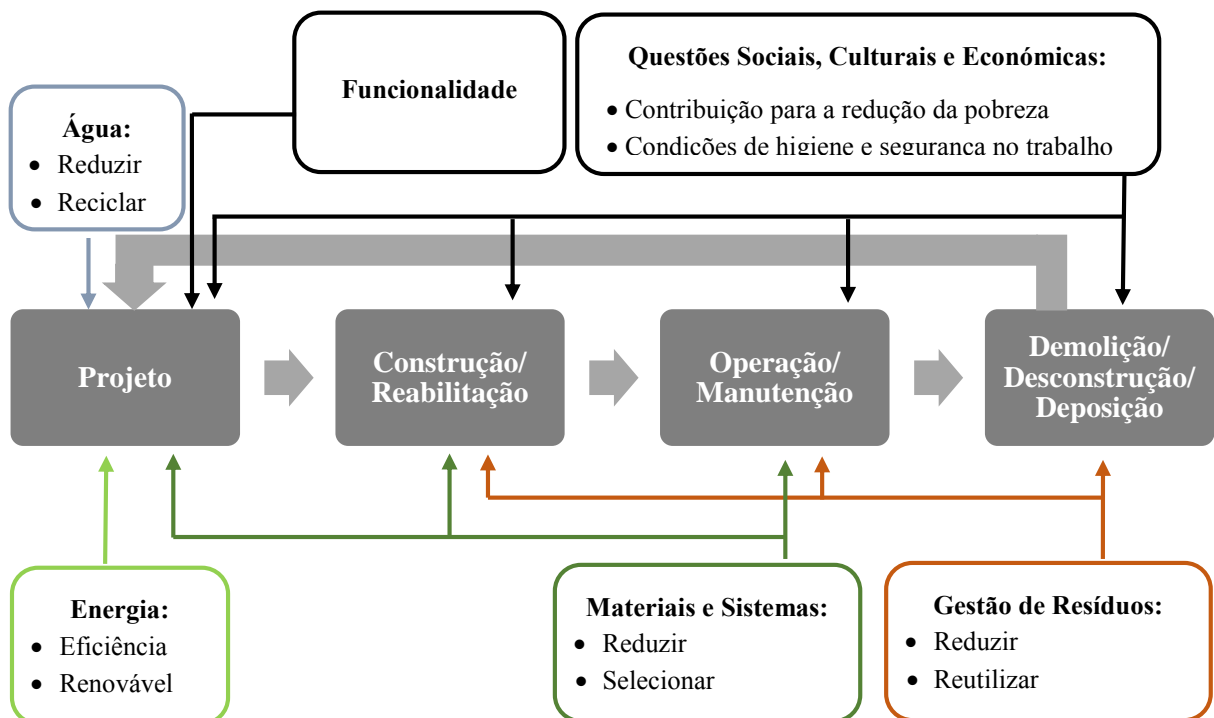


Fig. 2.11 - Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção, adaptado de [12] [19] [18]

2.3. IMPACTES AMBIENTAIS DO SECTOR DA CONSTRUÇÃO

2.3.1. ENQUADRAMENTO

A indústria da construção é indicada como aquela que cobre todas “*as atividades económicas relacionadas com a montagem ou produção de estruturas fixas e com movimento de terras nos locais de intervenção*”, definição apresentada por Mateus [18]. É caracterizada pela durabilidade, exposição ambiental, e multidisciplinaridade do ciclo de vida dos produtos incorporados no produto final [18]. Incluem-se nesta definição as habitações, edifícios industriais e comerciais, pontes e vias de comunicação, barragens, piscinas, entre outros [8].

As atividades construtivas e todo o seu ciclo de vida estão relacionados com as três dimensões do desenvolvimento sustentável, com efeitos económicos e sociais perceptíveis, mas também ambientais nomeadamente pela ocupação do solo, consumo de recursos, produção de resíduos e efluentes e alteração dos ecossistemas naturais [8] [18].

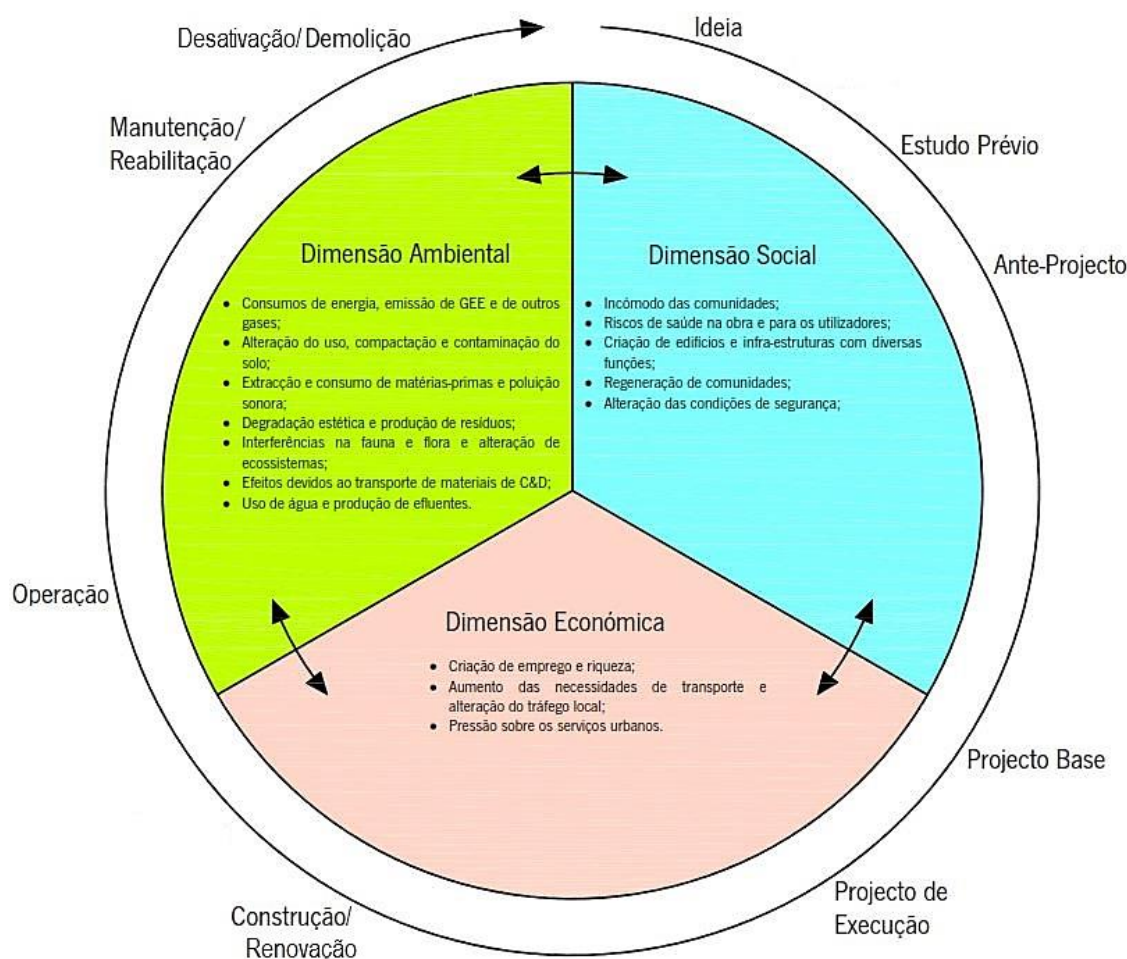


Fig. 2.12 - Impactes ambientais no ciclo de atividades da construção, adaptado de [8, p. 74] [18]

O ciclo de vida de uma construção inicia-se na fase de conceção, percorrendo a construção, operação e utilização onde se insere a manutenção e reabilitação, e por fim a desativação e demolição. As etapas com maiores efeitos negativos para a sustentabilidade são a construção e desativação essencialmente pela necessidade de extração e tratamento de matérias-primas, e carência de deposição de resíduos. No entanto, confrontando as durações de cada fase do ciclo de vida, a construção e desativação representam

uma parcela muito pequena em comparação com a fase de operação. Sendo assim, importa analisar e quantificar os efeitos decorrentes da utilização dos edificadoss [18].

Os impactes ambientais devem-se à interação entre o ambiente construído e natural, nomeadamente na dependência de extração e deposição de recursos. A sustentabilidade ambiental procurada pela indústria da construção pretende a redução das interações entre os dois ambientes, através da redução do consumo de resíduos para a construção, e posterior produção de resíduos provenientes de todas as fases do edifício [20].

É possível sistematizar os impactes ambientais decorrentes da indústria da construção, agrupando-os em quatro dimensões, nomeadamente quanto à pressão sobre a exploração de recursos, emissões e cargas ambientais, alterações nos sistemas ambientais de base natural e nos sistemas ambientais de base construído [8] [18].

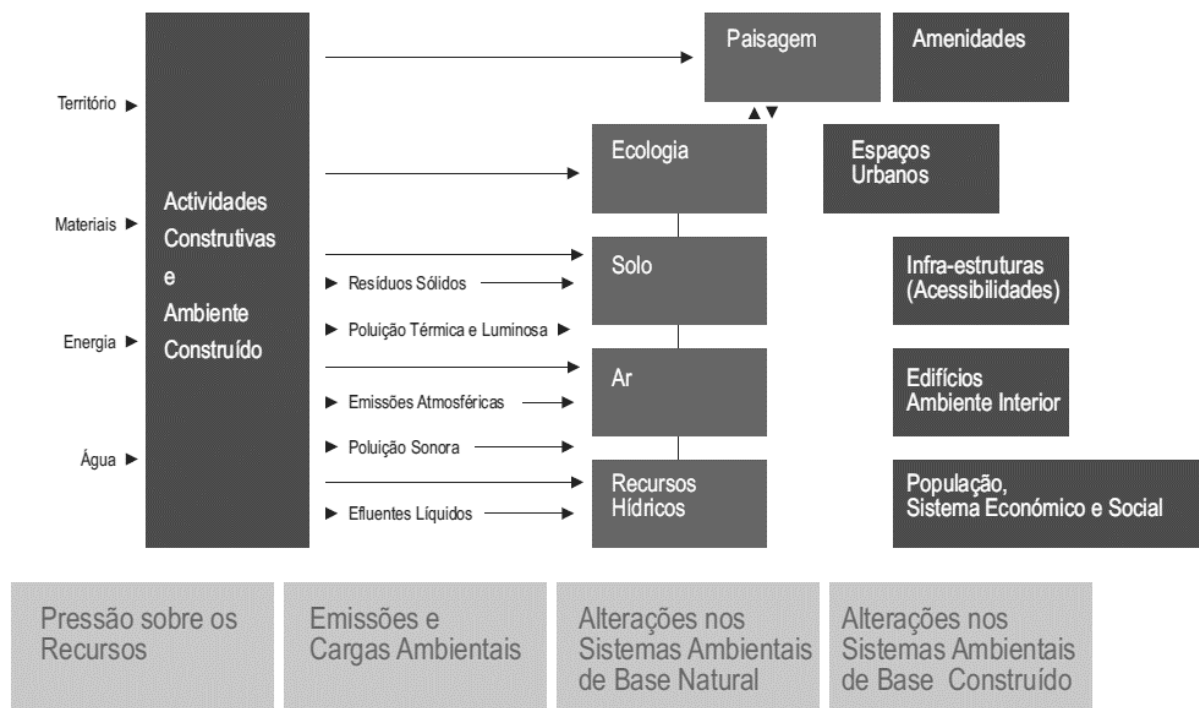


Fig. 2.13 - Modelo de sistematização dos impactes ambientais da construção [8] [18]

2.3.2. ENERGIA CONSUMIDA NO EDIFÍCIO

2.3.2.1. Enquadramento

O excesso de emissões de carbono para a atmosfera é referido como um dos fatores principais de impacto ambiental da atividade humana, que em grande parte são provenientes da queima de combustíveis fósseis para produção de energia elétrica [1].

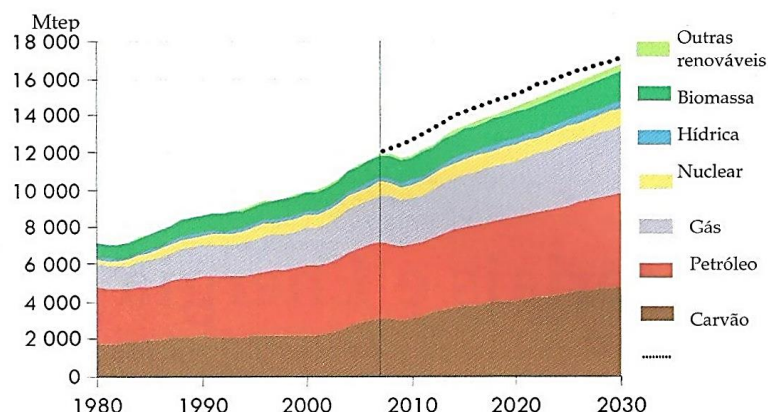


Fig. 2.14 - Emissões de carbono a nível mundial devidas à produção de energia, dados do *World Energy Outlook* de 2009, citado em [1]

O acréscimo do consumo e necessidades energéticas ao longo dos anos deve-se ao aumento populacional mundial, à melhoria das suas condições de vida e especialmente pelo acesso a energia elétrica mais generalizado [1].

O setor da construção utiliza a energia elétrica em todas as fases do ciclo de vida do edifício, desde a necessária à extração das matérias-primas, à produção de materiais de construção, em operação dos empreendimento e inclusive na desativação do mesmo por desmantelamento ou reciclagem de componentes. Um dos princípios fundamentais da construção sustentável, e da construção de edifícios sustentáveis é precisamente a economia de energia, tal como já fora referenciado nos pontos antecedentes.

2.3.2.2. Energia Incorporada nos Materiais de Construção

A *embodied energy*, ou energia incorporada, compreende a energia utilizada durante toda a vida útil dos materiais de construção, passando pelos processos de extração de matérias-primas, transporte e transformação, transporte e aplicação em obra, e fim de vida com a desconstrução e processos de reciclagem e reutilização se aplicável [7] [1].

No entanto, a suposição dos processos incluídos na energia incorporada num edifício ou num produto é alvo de alguma subjetividade. Dixit [21] refere que os estudos de investigação fornecem recorrentemente as suas próprias definições e considerações, dificultando a comparabilidade entre eles. Existem diversas abordagens em termos de vida útil de materiais, devidamente exploradas no capítulo 3.3.3 referente às variantes da avaliação do ciclo de vida dos materiais.

Mateus [20] afirma que a energia incorporada nos materiais pode atingir 6 a 20% da energia total consumida durante a vida útil de um edifício, considerando os sistemas construtivos utilizados, o tipo de utilização, o grau de conforto exigido e o clima.

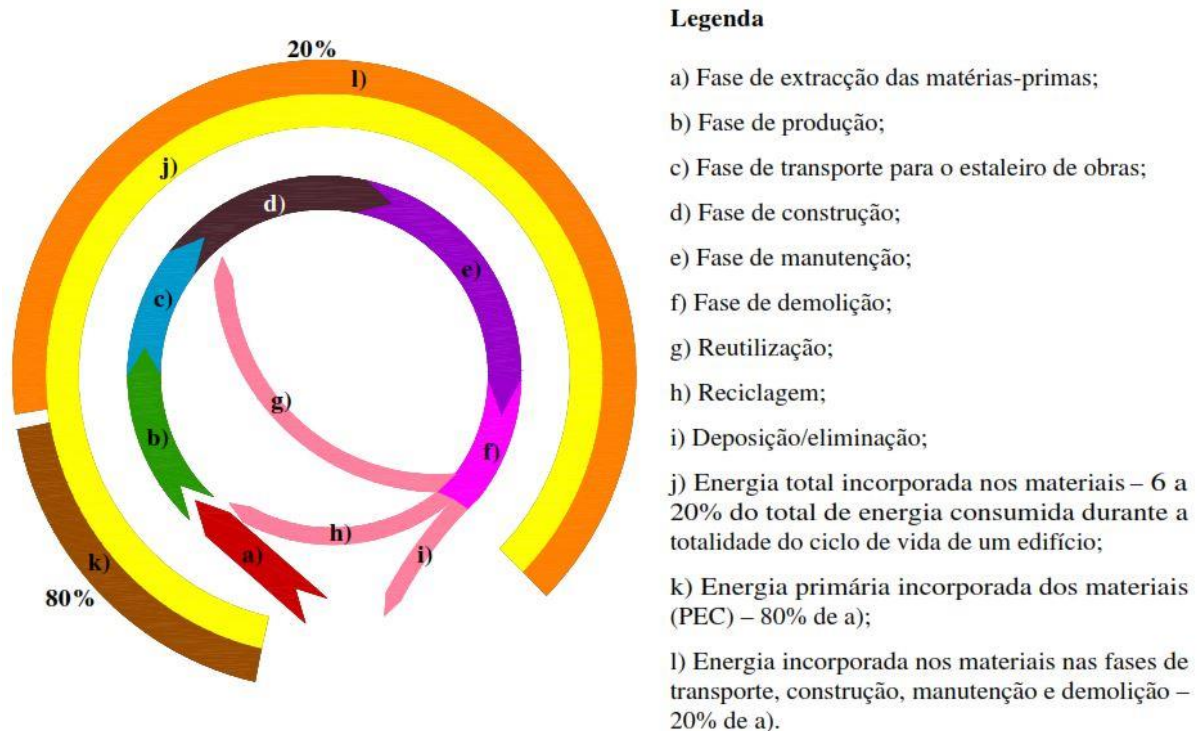


Fig. 2.15 - Consumos energéticos associados ao ciclo de vida dos materiais de construção [20]

Na energia incorporada no material pode-se destacar ainda a energia primária incorporada (PEC ou *Primary Energy Consumption*) que incide sobre os recursos energéticos consumidos durante a produção, nomeadamente a extração das matérias-primas, transporte até ao local de processamento e transformação do produto. A PEC corresponde a cerca de 80% da energia incorporada do material, sendo a remanescente percentagem destinada aos restantes processos do ciclo de vida, nomeadamente ao transporte do produto da fábrica ao estaleiro, processos de montagem, manutenção e reabilitação e incluindo o desmantelamento e demolição.

Os consumos energéticos relativos à produção de materiais de construção variam de país para país, e são dependentes dos processos construtivos adotados para cada material. Podem ser consultados em publicações específicas, bases de dados, e ou fornecidas pelos produtores.

Nos gastos energéticos totais em edifícios pouco eficientes, a parcela mais significativa de energia despendida pertence à fase operacional (descrita no ponto 2.3.2.4.), com peso de 85 a 90% em relação à energia incorporada nos materiais utilizados. O aumento das necessidades de eficiência energética, e o esforço de implementação da construção sustentável, resulta num aumento da energia incorporada nos edifícios, com maiores exigências a nível da seleção e especificações técnicas de materiais. A energia incorporada num edifício com reduzido consumo energético pode representar 45% da energia total, numa vida útil de 50 anos [1].

O transporte é uma parcela importante para a energia incorporada nos materiais de construção, tanto das matérias-primas como do material. O transporte pode ser realizado por via aérea, marítima, ferroviária ou ferrovia, sendo a energia de transporte requerida para cada material de grosso modo dependente da sua massa específica, e da distância percorrida. Berge [22] revela alguns valores sobre as emissões de dióxido de carbono inerentes à utilização dos transportes referidos.

Quadro 2.3 - Energia gasta e emissões de CO₂ segundo o modo de transporte, adaptado de [22] [1].

Transporte	Energia [MJ/ton km]	CO ₂ [g/ton km]
Avião	33 – 36	1650
Rodoviária (gasóleo)	0,8 – 2,2	50 – 175
Ferrovária (gasóleo)	0,6 – 0,9	80
Ferrovia (eletricidade)	0,2 – 0,4	–
Barco	0,3 – 0,9	15 – 25

Os materiais de construção locais, provenientes de extrações e transformadoras próximas do local de utilização, ou materiais com baixa massa volúmica, permitem a redução dos impactes ambientais resultantes do transporte [1] [7] [22].

Berge [22] afirma ainda que é necessária a seleção exigencial de materiais de construção, onde é equilibrada a energia incorporada à produção e a energia incorporada no transporte. Materiais com processos de produção que requerem elevada energia poderão ser uma escolha ambientalmente mais aceite quando comparado com outro material ecológico mas que tenha grandes emissões durante o seu transporte. O mesmo defende Szalay [23] afirmando que a parcela de energia incorporada nos materiais de construção pode exceder a energia operacional quando não são tidos em conta os fatores acima descritos.

2.3.2.3. Conceito de Emergia

O conceito de energia foi introduzido por Odum em 1983, e tal como é citado em Torgal [1], pode ser definido como “a energia disponível de um único tipo (correntemente do tipo solar) usada direta ou indiretamente para produzir um produto ou para prestar um serviço”. Esta noção sugere uma diferenciação entre a energia proveniente de fontes renováveis e não renováveis, distinguindo o contributo de ambas na energia incorporada de um produto.

A unidade de emergia é expressa em *emergy joule*, ou emergia solar, e uma unidade de material apresenta-se em *solar transformity*, ou transformidade solar. Um material com baixa energia incorporada é reconhecido como amigo do ambiente, tal como os materiais reciclados. Mas, relativamente à emergia, estes materiais apresentam valores mais elevados [1].

Nesta lógica, é possível recorrer a um rácio energia/massa como indicador de potencial de reciclagem de um material, sendo que produtos que exibam valores mais elevados neste indicador apresentam maiores vantagens na sua reciclagem.

Na análise de ciclo de vida dos materiais ao longo da vida útil de um edifício, ainda durante a fase de conceção, podem ser valorizados materiais com maior possibilidade de reaproveitamento com base nos cenários de fim do ciclo de vida (reutilização, reciclagem e deposição) e dos seus valores de emergia.

2.3.2.4. Energia Despendida na Fase de Operação

A energia utilizada durante a fase de operação dos edifícios, também entendida como energia operacional, relaciona-se com as necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação, utilização de equipamentos elétricos e outros usos relacionados com a operação do edifício [21] [23].

A energia operacional depende dos padrões de utilização do edifício, das características ambientais a que se encontra exposto, e da sua eficiência energética que está intimamente relacionada com a seleção de materiais que contribuem para a redução do consumo [6].

Com vista ao aumento da eficiência energética dos edifícios e a redução das necessidades energéticas para conforto térmico durante a fase operacional, são utilizados na envolvente dos edifícios materiais com elevada resistência térmica [7] [1]. Estes são identificados como isolantes térmicos, e são produtos que revelam uma elevada energia incorporada, com níveis de toxicidade significativos inerentes ao seu processo de fabrico [7].

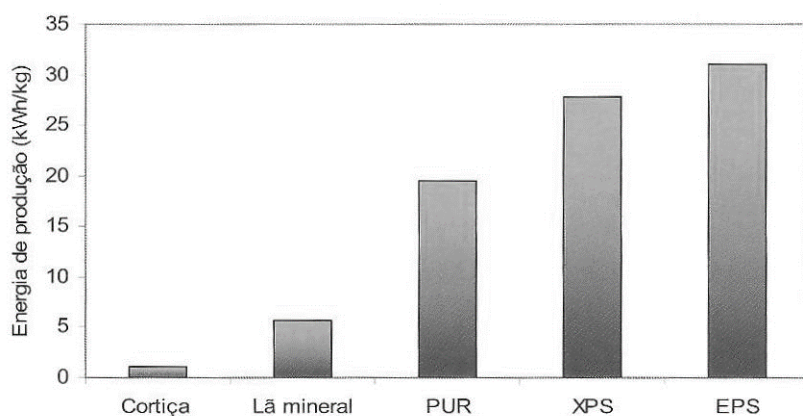


Fig. 2.16 - Energia utilizada na produção de vários isolamentos térmicos [1]

Pelo seu contributo na redução dos consumos de energia operacional, as espessuras dos isolantes térmicos aplicados na envolvente dos edifícios têm vindo a crescer, representando maiores gastos de material. Pode-se observar na figura 2.17 a evolução de espessuras de isolamento térmico em coberturas para alguns países nos finais do século passado.

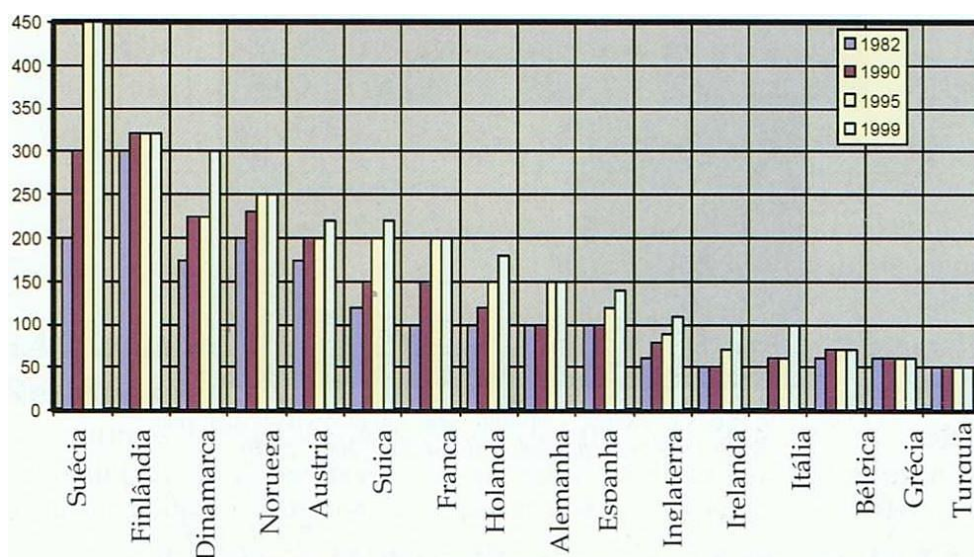


Fig. 2.17 - Evolução das espessuras, em milímetros, dos isolamentos térmicos em coberturas, citado em [1]

A energia consumida na fase operacional é, portanto, reduzida com a implementação de materiais com elevada eficiência térmica, mas é necessário um dimensionamento compensado das espessuras destes materiais devido à influência acentuada na energia incorporada do edifício, tendo em consideração igualmente os riscos toxicológicos inerentes à sua produção.

2.3.3. TOXICIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Torgal [24] afirma que os edifícios de habitação possuem níveis de toxicidade elevados em todas as suas fases do ciclo de vida, provenientes essencialmente dos seus materiais. Os elevados níveis de toxicidade podem surgir durante no processo de produção de materiais, pela libertação de substâncias tóxicas para o ar após a sua aplicação em obra, pela reação ao fogo e produção de fumos tóxicos em caso de incêndio, ou até mesmo por contaminação de água de abastecimento público [24].

Até ao início do século XX os materiais utilizados na construção provinham diretamente da natureza. Com a industrialização, a construção voltou-se para materiais com numerosas substâncias químicas, metais pesados, e Compostos Orgânicos Voláteis (COV), afetando a qualidade do ar e apresentando nocividade para a saúde pública. Os problemas de saúde podem compreender [24] [1]:

- Irritações da pele, olhos e vias respiratórias
- Distúrbios cardíacos, digestivos, renais ou hepáticos
- Dores de cabeça e mal-estar generalizado
- Distúrbios do sistema nervoso, como perturbações da memória, de atenção, concentração e da fala, stresse e ansiedade
- Perturbações do sistema hormonal (problemas fetais e de reprodução);
- Desenvolvimento de cancros das fossas nasais, dos seios frontais e pulmões, quando presentes em elevadas concentrações.

Na produção e processamento de materiais de construção de base química, existe a produção de resíduos e emissões tóxicas e poluentes, que vão contra os princípios da construção sustentável. Podem distinguir-se no quadro seguinte os poluentes que merecem maior destaque [24] [1] [7]:

Quadro 2.4 – Poluentes [24] [1] [7]

Poluente	Descrição
Organoclorados (Dioxinas e Furanos)	Resíduos químicos provenientes de processos industriais envolvendo cloro, considerados bastante tóxicos para a saúde com a agravante de serem bioacumuláveis no organismo. São exemplo a produção de plásticos de policloreto de vinila (PVC).
Ftalatos	Compostos químicos derivados do ácido ftálico utilizado como aditivo para reduzir a rigidez dos plásticos, como por exemplo PVC. Sendo estes materiais usualmente selecionados em instalações de águas e esgotos, potenciando a toxicidade tanto na produção dos materiais como durante a sua utilização.
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Poluentes atmosféricos resultantes das emissões por materiais de construção contendo solventes orgânicos, como tinta, vernizes, colas e selantes. Estes, para além de contribuírem para o efeito de estufa, são nocivos à saúde.
Fumos Tóxicos (em caso de incêndio)	A combustão dos materiais, as substâncias tóxicas e os fumos que podem ser libertados em caso de incêndio, são analisados através de índices de toxicidade. O poliuretano ou polietileno apresentam concentrações elevadas de gases tóxicos quando se encontram em combustão.
Substâncias Radioativas	Produção de materiais com resíduos possuindo algum tipo de contaminação radiológica. A maioria dos materiais de construção não apresenta níveis de radiação inquietantes, estando habitualmente presentes em subprodutos (fosfogesso, escórias de alto forno, cinzas volante) com metais pesados e elementos radioativos como o rádio, o chumbo e o urânio.
Amianto	O amianto, ou asbestos, é constituído por fibras que proporcionam características de incombustibilidade, elevada resistência à tração, facilidade em ser empregue, e baixo custo. Utilizado na indústria da construção no fabrico de painéis de fibrocimento, isolantes térmicos e antifogo. Estas fibras apresentam potencial cancerígeno para a saúde pública, tanto na sua extração, como exposição de trabalhadores ou utentes.

Chumbo	Utilizado na indústria da construção em redes de abastecimento de água, por ser um material muito maleável e com pouco risco de corrosão. No entanto, pode provocar intoxicação e envenenamento através da água proveniente deste tipo de canalizações, pela concentração de produtos de corrosão na superfície interna da tubagem.
---------------	---

Os materiais plásticos derivados do petróleo, cujos 20,5% do consumo europeu em 2011 fora destinado apenas à indústria da construção, contém vários tipos de aditivos, como por exemplo [1]:

- Plastificantes
- Redutores de rigidez
- Corantes
- Estabilizadores de radiação solar
- Redutores de fumo
- Anti estáticos
- Redutores de ignição

Alguns materiais de isolamento térmico são obtidos por reações de polimerização de moléculas básicas. No caso do poliestireno expandido (EPS) ou extrudido (XPS) dá-se a polimerização do estireno com aditivos antioxidantes e retardadores de ignição com produção de benzeno e clorofluorcarbonetos. Por sua vez, o polietileno resulta da polimerização do etileno, e o poliuretano da polimerização dos isocianatos. Estes últimos para além de libertarem fenol e CFC, são altamente tóxicos para a saúde humana [1].

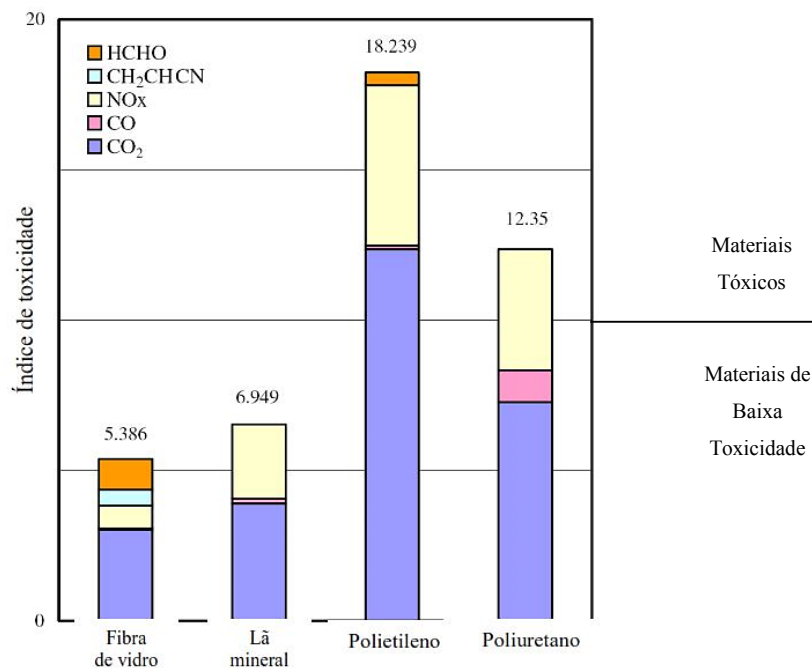


Fig. 2.18 - Valor médio do índice de toxicidade de isolamentos térmicos em caso de incêndio, adaptado de [1]
[24]

Os plásticos não são biodegradáveis tornando o impacto ambiental em cenário de fim de vida muito expressivo inclusive quando é pretendida a reciclagem destes produtos, com grandes emissões de poluentes [7].

2.3.4. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD)

2.3.4.1. Enquadramento e Legislação

O conceito de resíduo é definido por Pinheiro e por Torgal como “*quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer*” em conformidade com a Lista Europeia de Resíduos (LER), definida na Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março [8] [1] [25]

Desta definição deriva o conceito de Resíduo de construção e demolição (RCD), sendo entendido como “*o resíduo proveniente de obras de construção, reconstrução, ampliação, alteração, conservação e demolição e da derrocada de edificações*” [26].

Os resíduos provenientes da indústria da construção (RCD) têm uma expressão muito acentuada tanto em Portugal como na generalidade da união europeia na produção anual de resíduos, registando cerca de 100 milhões de toneladas anualmente [27]. Não existem dados estatísticos unânimes e fiáveis na maioria dos países, justificáveis pela desvalorização das potencialidades económicas e ambientais destes resíduos, e pela permanente deposição não controlada em vazadouros, de forma clandestina [1].

As operações de gestão de resíduos provenientes de obras de construção, reconstrução, e todas as intervenções em edifícios são feitas segundo o Decreto-lei n.º 46/2008 de 12 de Março, alterado pelo Decreto-lei n.º 73/2011 de 17 de Junho [26]. Por sua vez, a Portaria n.º 417/2008 de 11 de Junho estabelece os modelos de guias de acompanhamento de resíduos para o transporte de RCD [28].

A Lista Europeia de Resíduos (LER) enumera as substâncias produzidas pelas mais variadas indústrias e atividades, dividindo-as por códigos referentes a cada categoria. Em termos de RCD, de um modo mais geral englobam-se os resíduos nas seguintes grupos:

Quadro 2.5 - Lista europeia de resíduos, referentes a produtos provenientes de RCD's. Adaptado de [1] [25].

Código	Descrição
17	Resíduos de construção e demolição (incluindo solos escavados de locais contaminados).
17 01	Betão, tijolos, ladrilhos, telhas e materiais cerâmicos.
17 02	Madeira, vidro e plástico.
17 03	Misturas betuminosas, alcatrão e produtos de alcatrão:
17 04	Metais (incluindo ligas).
17 05	Solos (incluindo solos escavados de locais contaminados), rochas e lamas de dragagem.
17 06	Materiais de isolamento e materiais de construção contendo amianto.
17 08	Materiais de construção à base de gesso.
17 09	Outros resíduos de construção e demolição.

Existe ainda menção a resíduos perigosos na lista mais detalhada, mas, para os materiais que se enquadram nesta classificação é ainda necessária a avaliação das características de perigosidade do resíduo e o valor de concentração da substância considerada perigosa [1]. No referido documento legislativo é feita uma repartição de características de perigo atribuíveis aos resíduos. A título de exemplo salientam-se as substâncias explosivas, combustíveis, inflamáveis, irritantes, entre outros [25].

O Plano de Prevenção e Gestão de RCD (PPG-RCD) é um documento obrigatório desde a vigência do Decreto-Lei n.º 46/2008 de 12 de Março, aplicável a empreitadas e concessões de obras públicas [26] [7]. No entanto, Kats e Baum citado em Torgal [1] afirmam que a implementação deste procedimento

dificulta a execução de trabalhos, contribuindo para atrasos em obra. A bibliografia apresenta conclusões sobre a aplicação deste documento a nível nacional, nomeadamente [1]:

- Possibilidade de elevados níveis de incumprimento dos PPG-RCD
- Baixa formação dos operários, dificultando a implementação dos procedimentos
- Reduzido espaço de estaleiro, com dificuldade nas operações de triagem
- Valores reais e estimados de produção de RCD não coincidentes e de difícil previsão.

De acordo com as metas estabelecidas para o ano de 2020, já abordado na seção de enquadramento do desenvolvimento sustentável, é previsto um aumento para 70% em peso relativamente à preparação para a reutilização, reciclagem, e utilização de RCD como substitutos de materiais de construção [26].

Importa ainda referir que, até 2021, o Regime Excecional para a Reabilitação Urbana, aprovado no Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de Abril, dispensa a reabilitação de edifícios ou frações com mais de 30 anos de cumprimento de determinadas normas técnicas aplicáveis à construção, nomeadamente em relação aos RCD, tendo em conta que estas foram desenvolvidas para construção nova [27].

2.3.4.2. Demolição, Desconstrução, Triagem e Reciclagem

Tal como já fora analisado sinteticamente no âmbito da sustentabilidade da construção, o ciclo de vida de um edifício usualmente termina na demolição. Era o processo que habitualmente potenciava uma minimização do tempo desta tarefa, culminando com os resíduos em aterro ou vazadouro sem qualquer seleção e tratamento. Com a crescente consciencialização dos volumes excessivos de RCD produzidos mundialmente, o impacto que estes trazem ao ambiente tanto devido ao aterro como à desnecessária exploração de recursos posterior, o surgimento dos instrumentos legais sobre esta temática, e muitas vezes o desperdício financeiro pelo não aproveitamento de materiais de construção possíveis de reaplicação, a desconstrução passou a ter um papel fundamental na indústria.

A desconstrução pode ser entendida como a demolição seletiva, ou seja, a desmontagem do edifício no sentido inverso ao da sua construção, com possibilidade de recuperação de materiais para reutilização ou reciclagem. Kibert citado em Torgal [1] aponta alguns princípios a ser tomados a montante do ciclo de vida do edifício, que potenciam a desconstrução, nomeadamente [1] [29]:

- Usar materiais reciclados e recicláveis
- Minimizar o número de tipos de materiais
- Evitar materiais tóxicos e produtos que não podem ser separados
- Evitar acabamentos secundários
- Fornecer uma identificação permanente dos diversos materiais
- Minimizar o número de diferentes componentes
- Privilegiar ligações mecânicas sobre as ligações químicas
- Usar edifícios de sistemas abertos com partes que podem mudar de função
- Usar a construção modular
- Usar tecnologias de desconstrução compatíveis com as práticas construtivas
- Separar a estrutura dos revestimentos
- Permitir o acesso a todos os componentes do edifício
- Projetar componentes para serem usados manualmente
- Fornecer tolerâncias que permitam a desconstrução
- Minimizar o número de rebites ou outros conectores
- Minimizar os tipos de conectores

- Projetar conectores e ligações para suportar operações repetidas de construção e desconstrução
- Permitir a desconstrução paralela
- Fornecer uma identificação permanente de cada componente
- Usar soluções estruturais normalizadas
- Usar materiais leves
- Identificar de forma permanente a zona de desconstrução
- Fornecer peças de substituição e o local para o seu armazenamento
- Guardar a informação do edifício e do processo construtivo

O Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho estabelece que os resíduos provenientes da desconstrução são obrigatoriamente submetidos a triagem, para separação consoante a sua natureza e posteriormente submetidos a reciclagem.

A reutilização, proveniente da desconstrução, é ainda o procedimento preferencial em relação à reciclagem, não envolvendo processos industriais de transformação de materiais, logo, melhores resultados em termos de sustentabilidade e impactes ambientais [29].

2.4. MEDIDAS SUSTENTÁVEIS A APLICAR NA REABILITAÇÃO

2.4.1. REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL

A reabilitação de edifícios, que será devidamente explorada no capítulo 5, permite a obtenção de bons resultados ao nível de impactes ambientais em comparação com a construção nova. Em primeiro lugar, evita o aumento da ocupação do solo resultante da construção de novas edificações, e permite a regeneração e reaproveitamento dos espaços já ocupados. Em termos energéticos relacionados com a extração de matérias-primas, fabrico de produto e atividades construtivas, a reabilitação pressupõe a reutilização de muitos elementos construtivos que apresentem as características funcionais necessárias ao seu bom funcionamento. A título de exemplo podem referir-se as atividades a nível estrutural, que apesar de poderem apresentar necessidades de reforço numa intervenção de reabilitação, não consomem a mesma quantidade de materiais (cimento, agregados, aço, etc) caso fossem construídas na totalidade. A nível de exploração de recursos naturais, a menor necessidade de materiais implica menores impactes decorrentes dessa atividade [12].

Especificando a fase construtiva, os estaleiros de obras de reabilitação apresentam dimensões mais reduzidas em comparação aos estaleiros de construção nova. Havendo menor quantidade de materiais requerida, os processos de transporte são mais conservativos ambientalmente [12].

Outra fase que é substancialmente reduzida é a demolição e a produção de RCD, com as consequências que daí advêm e já foram exploradas [12].

Para além das vantagens apresentadas, correspondentes maioritariamente à exploração de matérias-primas e à fase de construção, a reabilitação permite a melhoria no consumo energético dos edifícios em fase operacional, e os impactes ambientais associados. Para isso, e para além do cumprimento de imposições regulamentares, existem medidas que podem ser adotadas para a minimização do consumo energético de edifícios, tanto novos, como reabilitados.

2.4.2. ESTRATÉGIAS DE MINIMIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO NO CONFORTO DE EDIFÍCIOS

A minimização do consumo energético em edifícios pode ser alcançado através da implementação de estratégias passivas, com carácter permanente e inerte, habitualmente dispostas na altura da conceção do edifício ou de intervenções de reabilitação. Podem-se enumerar e descrever genericamente algumas dessas estratégias [12] [20]:

- **Isolamento Térmico**

Diminuição das perdas de calor por transmissão térmica, e consequente redução dos consumos energéticos associados às necessidades de aquecimento. O elemento construtivo mais vulnerável às perdas de calor durante a estação de aquecimento (inverno) é a cobertura, mostrando também muita vulnerabilidade na estação de arrefecimento (verão) devido aos ganhos de calor resultantes da incidência prolongada de radiação solar.

- **Envidraçados**

Dimensionamento arquitetónico de áreas adequadas e sobretudo a orientação solar a nascente permite a maximização de ganhos solares, permitindo reduzir as necessidades de aquecimento no inverno. A seleção exigencial das características dos envidraçados, nomeadamente coeficientes de transmissão térmica, fator solar, coeficiente de transmissão luminosa, permite um bom balanço térmico do envidraçado. Relativamente ao desempenho de verão, a adoção de proteções exteriores ou interiores permite o controlo dos ganhos solares pelos envidraçados.

- **Sombreamento**

Incluindo os dispositivos de proteção dos envidraçados já mencionados, a previsão de palas, grelhas de sombreamento, saliências do edifício, vegetação ou obstáculos, permitem controlar a quantidade de radiação solar direta.

- **Iluminação**

Deverá ser potencializada a iluminação natural sem comprometer o comportamento térmico dos edifícios (por ganhos solares). A iluminação artificial deverá ser bem arquitetada de modo a permitir adequada quantidade luminosa em todos os compartimentos. A seleção de lâmpadas ou dispositivos luminosos de baixo consumo energético ou inteligentes, permitindo o mínimo consumo de energia possível.

Podem também ser acionadas estratégias ativas, que visam essencialmente a produção de energia pelo aproveitamento de fontes renováveis, como o sol ou o vento [12] [20]:

- Sistemas Solares Térmicos para Produção de Água Quente Sanitária
- Fontes Renováveis para Produção de Eletricidade

3

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) E INSTRUMENTOS AMBIENTAIS

3.1. ENQUADRAMENTO

A relação entre vida útil de um produto, a durabilidade e o seu ciclo de vida, são noções muito relacionáveis e dependentes. Com a crescente necessidade de quantificação dos impactes ambientais da indústria da construção, a aplicação de uma metodologia que permita a análise do ciclo de vida dos produtos é impreterível na seleção de materiais com melhor eficiência ecológica.

3.2. VIDA ÚTIL E DURABILIDADE

3.2.1. CONCEITO DE VIDA ÚTIL

A vida útil na indústria da construção refere-se ao período de tempo em que um edifício e os seus componentes são capazes de satisfazer os requisitos mínimos de desempenho a que se destinam. É habitualmente medida em anos, contabilizados desde o final da construção até ao momento em que são detetados estados limites de deterioração física, comportamental ou obsolescência económica ou funcional de todo o edifício, ou de seus componentes [30] [31].

É um conceito intimamente relacionado com a durabilidade, do edifício ou de seus componentes, bem como com as intervenções de manutenção.

3.2.2. DURABILIDADE

A durabilidade pode ser entendida como a “*capacidade de um edifício ou de uma parte de um edifício de desempenhar a sua função durante um determinado intervalo de tempo, sob a ação dos agentes presentes em serviço*” sendo uma característica que depende das condições em serviço a que o edifício ou componente se encontra sujeito [32] [31]. A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) apresenta uma definição semelhante para durabilidade, sendo a “*capacidade de manter um produto, componente, sistema ou construção em serviço durante um período definido de tempo*” [33] [34].

Segundo a terminologia de manutenção de edifícios, a durabilidade é entendida como a *aptidão de um bem para cumprir uma função requerida, de acordo com condições de utilização e manutenção especificadas, até que seja atingido um estado limite* (estado este que poderá ser caracterizado pelo fim da sua vida útil, pela sua inadequação, por razões técnicas ou económicas ou outros fatores) [35].

Existe portanto uma relação muito estreita entre durabilidade e o conceito de vida útil. Importa referir que, a degradação de um edifício ou componente, ou o momento que marca a incapacidade deste executar a função a que se destina não implica o final da sua vida útil [33]. Podem ainda ser apontados indicadores que dependem da durabilidade das construções, da facilidade de substituição de componente, da vida útil de projeto, e segundo o destino e categoria do edifício. O tempo indicado de serviço de um produto ou componente de construção deve ser encarado como uma ferramenta de seleção de produtos, relativamente ao valor económico razoável para o período de tempo em serviço [36].

A vida útil é limitada pela deterioração dos produtos e elementos de construção que não possam ser substituídos, ou cuja substituição comporte custos inaceitáveis durante o ciclo de vida do edifício [36] [31].

Quadro 3.1 - Valores mínimos para a durabilidade para os produtos e componentes da construção [32] [36] [31]

Vida Útil de Projeto	Elementos Estruturais ou Inacessíveis	Elementos cuja Substituição Dispendiosa ou Difícil	Elementos Facilmente substituíveis	Instalações e Equipamentos
Ilimitada	Ilimitada	100	40	25
150	150	100	40	25
100	100	100	40	25
60	60	60	40	25
25	25	25	25	25
15	15	15	15	15
10	10	10	10	10

Existem ainda autores que definem valores médios para a utilização em serviço dos elementos que constituem os edifícios, em função do seu tipo de utilização [36] [7].

Quadro 3.2 - Vida útil de projeto requerida a alguns elementos de construção [32]

Tipo de Elemento	Uso do Edifício			
	Habitação	Escritórios	Hospitais	Escolas
Todo o Edifício	62	53	55	44
Cobertura Plana	26	24	32	23
Cobertura Inclinada	43	41	46	38
Sistema de Fachada	48	42	43	34

Facilmente se conclui que, com utilização de materiais mais duráveis nas edificações, resulta uma vida útil mais longa dos seus componentes. Com isto, deriva uma diminuição do número de intervenções de reabilitação, substituição e manutenção de materiais e elementos, que reduzem substancialmente os impactos ambientais, a exploração de recursos e fundamentalmente, a produção de resíduos [1].

O fim de vida útil de um edifício ocorre quando este deixa de satisfazer adequadamente as funções previstas, com alterações do seu desempenho. Este limiar é difícil de ser definido em projeto, tendo em consideração o horizonte temporal da vida útil, e o aumento das exigências de qualidade e desempenho dos edifícios [30].

Importa ainda salientar a relação entre vida útil e ciclo de vida. O ciclo de vida de um edifício, já demonstrado na figura 2.10 do capítulo anterior, inicia-se na conceção, engloba a exploração de recursos

para utilização na construção e as operações de edificação que dão início ao período de vida útil. O ciclo de vida tem uma conotação mais abrangente, e incorpora a vida útil.

Por sua vez, todos os componentes, materiais ou produtos possuem o seu próprio ciclo de vida, podendo este ser definido mais concretamente como as *“etapas consecutivas e interligadas de um sistema de produto desde a obtenção de matérias-primas, ou sua produção a partir de recursos naturais, até ao destino final”* [37] [38].

3.3. METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

3.3.1. DEFINIÇÕES E ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

Bragança afirma que *“a utilização adequada de materiais, produtos e tecnologias construtivas pode contribuir consideravelmente para um melhor desempenho ambiental de ciclo de vida de um edifício e, por conseguinte, para a sua sustentabilidade”*. Após a elucidação do impacto da indústria da construção sobre o ambiente, e principalmente com a necessidade da quantificação destes, surgem técnicas e medidas que permitem melhorar o desempenho ambiental dos materiais, energia e gestão de resíduos empregues na construção. É o caso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou *Life Cycle Assessment* (LCA) mostrando ser uma abordagem útil para quantificar os potenciais impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto ou a um conjunto de produtos, que constituem um edifício [2] [39].

Em Portugal, a metodologia de ACV é regulamentada pelas ISO 14040 e ISO 14044, publicadas pela *International Organization for Standardization*, que definem os requisitos específicos e linhas orientadoras para uma avaliação do ciclo de vida de um produto (qualquer bem ou serviço, onde se insere naturalmente a indústria da construção). Nestas publicações, a ACV é entendida como uma *“compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”* [37] [38].

As aplicações mais importantes das ferramentas de ACV no setor da construção podem sumariar-se em [2] [18]:

- Quantificação dos potenciais impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto
- Identificação da energia, materiais consumidos, e resíduos libertados para o meio ambiente
- Usado na implementação de medidas que permitam melhorar o desempenho ambiental
- Comparação entre produtos para comunicação interna ou externa

Os impactos ambientais correntemente analisados em estudos de ACV na indústria da construção podem inserir-se nas categorias [1]:

- Consumo de recursos não renováveis e de água
- Potencial de aquecimento global, de redução da camada de ozono, de eutrofização, de acidificação e de formação de smog, ou nevoeiros tóxicos
- Toxicidade humana e ecológica
- Produção de resíduos
- Uso de terra
- Poluição do ar
- Alteração de habitats

Na indústria da construção, a adoção de ACV ambiental é uma tarefa que acarreta períodos de implementação muito longos, essencialmente pelos inúmeros materiais que são envolvidos numa intervenção, e pela existência de intervenientes distintos, dificultando a difusão da implementação deste

método na generalidade os projetos [1]. Existem ferramentas informáticas que utilizam a ACV para a avaliação do impacto ambiental de produtos e materiais de construção, devidamente explorados no ponto 3.3.5.

A aplicação generalizada à construção de análises do ciclo de vida dos materiais implica uma exaustiva compilação numa base de dados os impactos ambientais ao longo da sua vida útil, sendo esta uma tarefa complexa [1].

As metodologias de ACV incidem essencialmente na vertente ambiental das dimensões do desenvolvimento sustentável, através da avaliação do desempenho de soluções construtivas quanto a categorias de impacto ambiental. A vertente económica é habitualmente estudada por metodologias mais complexas associadas à construção sustentável, ainda que baseadas na ACV e com o auxílio a ferramentas informáticas [2].

3.3.2. ETAPAS DE REALIZAÇÃO DE UMA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

3.3.2.1. Enquadramento

A implementação da avaliação do ciclo de vida é feita através de um modelo, ou simplificação da realidade, através de procedimentos metodológicos dividido por quatro fases descritas nos pontos seguintes.

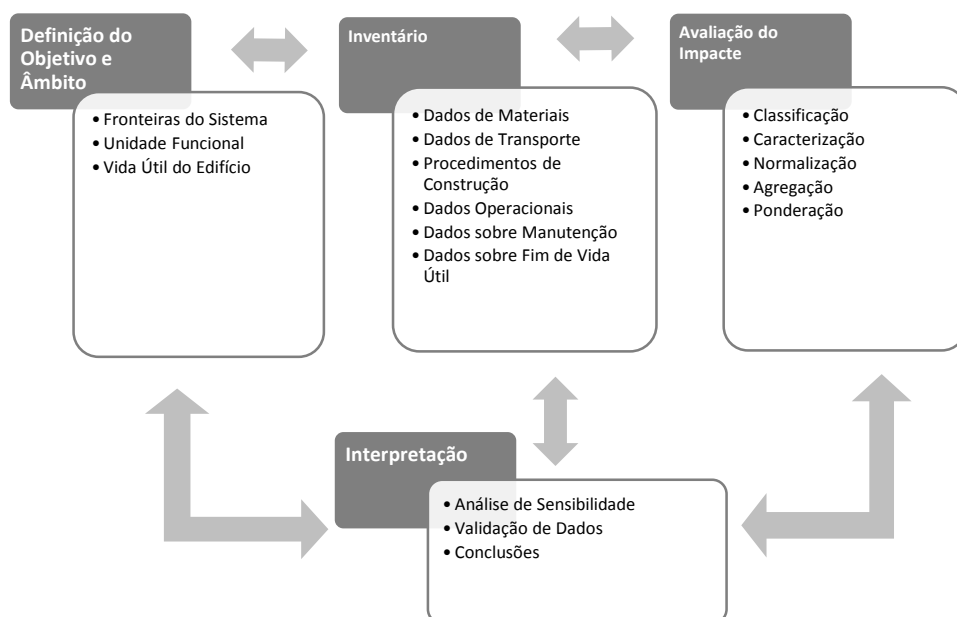


Fig. 3.1 - Fases da implementação da ACV na indústria da construção [2] [39]

3.3.2.2. Definição do objetivo e Âmbito

A primeira fase compreende a definição do objetivo e âmbito da avaliação do ciclo de vida, onde são clarificados o nível de detalhe e a aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo, a que se destinam os resultados que serão obtidos, e qual o seu público-alvo [38] [37]. Bragança [2] alude ainda que o objetivo de estudo de avaliação do ciclo de vida deve expor de forma não ambígua a aplicação planeada, as razões para levar a cabo o estudo e a audiência pretendida, ou seja, a quem irão ser comunicados os resultados.

Dado o carácter iterativo do método de ACV, tanto dentro como entre as fases, para a consistência do estudo é imprescindível a adaptação desta primeira fase, em função dos condicionalismos ou informações adicionais não contabilizadas inicialmente [38].

Nesta fase o objeto de estudo é determinado sobre a forma de unidade funcional, ou seja, como definição do desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como referência [38] [37], sendo habitualmente adotado um metro quadrado (1 m^2) de área para assegurar compatibilidade entre soluções [39].

3.3.2.3. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O inventário do ciclo de vida (ICV) compreende a “fase da avaliação do ciclo de vida que envolve a compilação e quantificação de entradas e saídas para um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida”, tal como explicita a *International Organization for Standardization*. Esta é a segunda fase da metodologia, que envolve a recolha, descrição e verificação de dados iterativamente para atingir os objetivos definidos na primeira fase [38] [37].

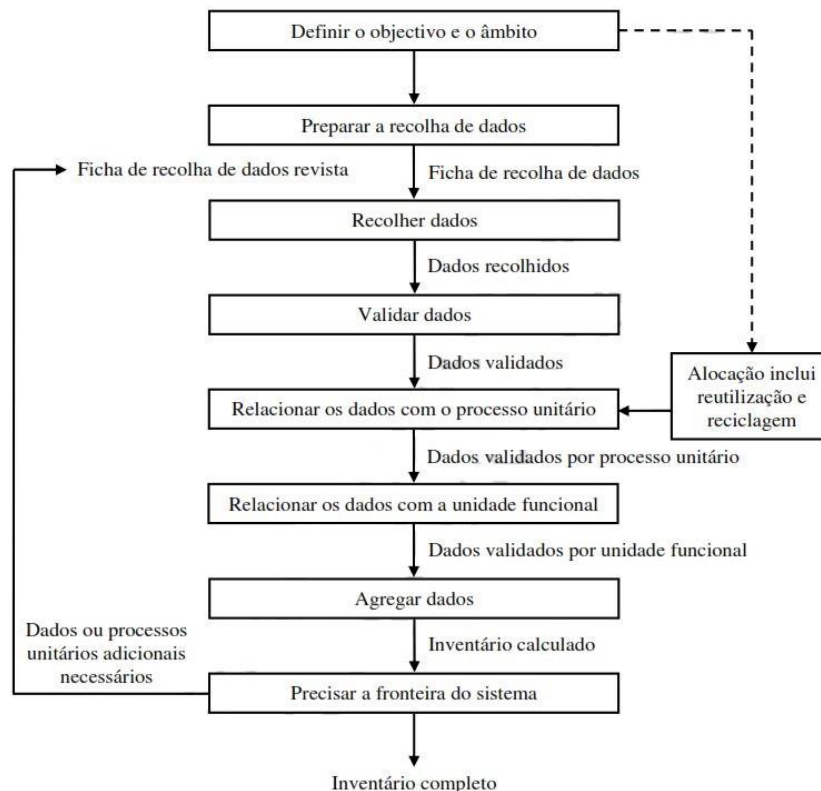


Fig. 3.2 - Procedimentos simplificados para o ICV [37]

Os dados de entrada, ou *inputs*, englobam informações sobre as diferentes etapas do ciclo de vida de um produto, como a energia e materiais usados nas matérias-primas, produtos, coprodutos, resíduos, emissões e outros aspetos ambientais [37]. Um dos principais *inputs* é a determinação do tipo e quantidade de materiais usados no edifício [39].

Existem várias ferramentas para a obtenção de informação, passando diretamente pela contribuição das empresas produtoras ou através de bibliografia, ou com recurso a ferramentas com bases de dados incorporadas [2] [39].

3.3.2.4. Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

A terceira fase da ACV trata da avaliação das categorias de impacte ambiental, definida como a “fase da avaliação do ciclo de vida com o objetivo de compreender e avaliar a magnitude e significância dos impactes ambientais potenciais para um sistema de produto ao longo do ciclo de vida do produto”. Esta fase permite a interpretação do ciclo de vida, com a utilização dos resultados do ICV para a apreciação dos impactes ambientais segundo indicadores e categorias específicas [37] [38].

A AICV é constituída por elementos obrigatórios e opcionais [37]. Um estudo que não inclua as etapas obrigatórias é denominado apenas por inventário do ciclo de vida, ou *Life Cycle Inventory* (LCI), e não será uma ACV [18].

Elementos Obrigatórios:

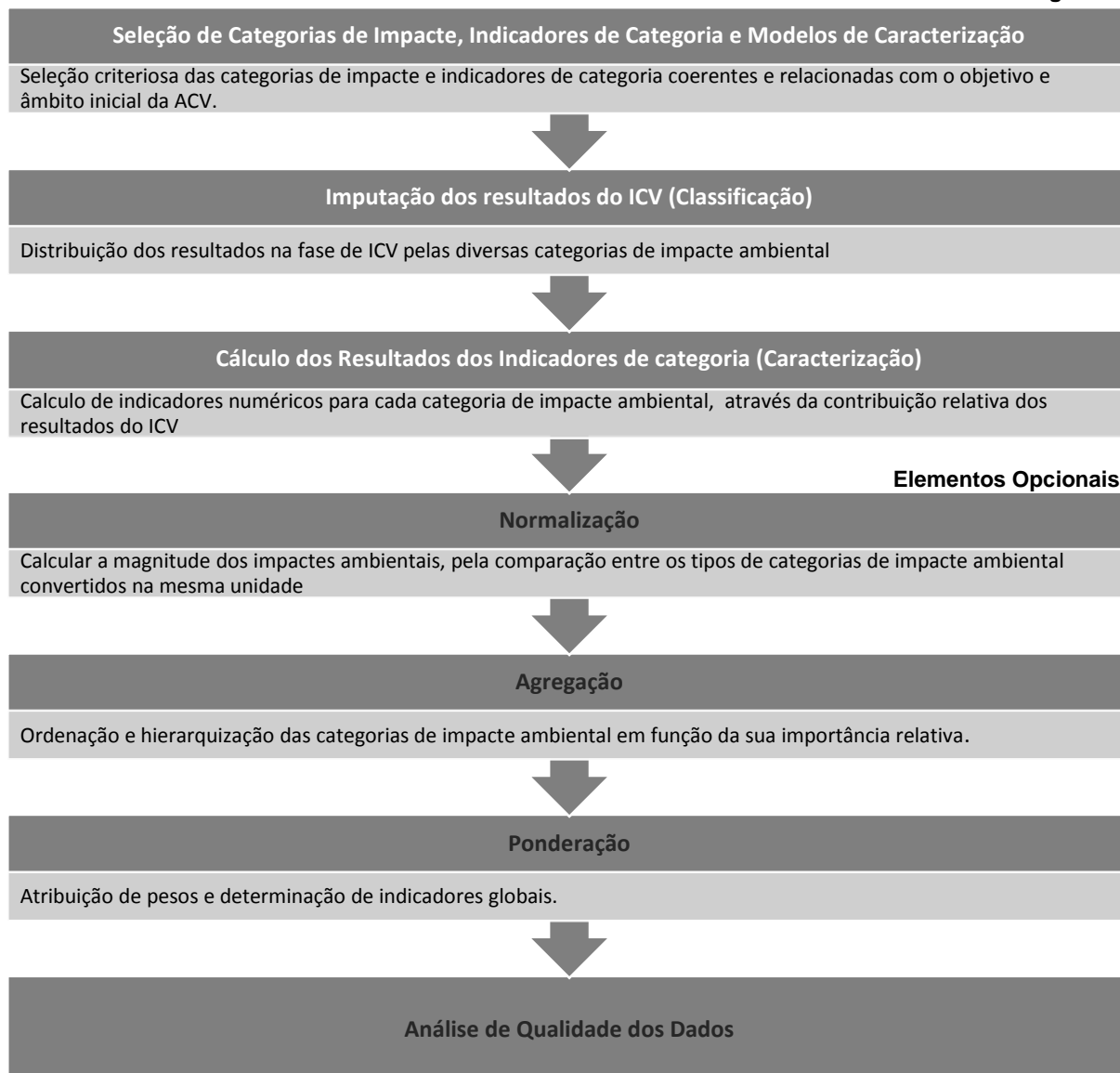


Fig. 3.3 - Elementos da fase da AICV, adaptado de [38] [40] [2] [18]

As fases da ACV de um produto devem ser desenvolvidas de raiz e criados indicadores subjetivos para cada análise que fundamentem o objetivo inicial sem nunca descorar as recomendações da ISO em vigor. Dada a complexidade da conceção destes indicadores, é habitual recorrer-se a metodologias já existentes, com categorias pré definidas [39]. Geralmente o número de categorias de impacte ambiental

varia entre 10 e 20. É possível atribuir determinadas emissões simultaneamente a diferentes categorias de impacto ambiental [19].

O Centro Europeu de Normalização (CEN) padroniza as categorias de impacto ambiental, expressas no quadro 3.3, de modo a permitir comparação entre resultados da aplicação do método [2].

Quadro 3.3 - Categorias de impacto ambiental [2]

Impactes Ambientais em Categorias de ACV	Esgotamento de Recursos Abióticos	ADP	Impactes Ambientais em ICV	Utilização de Energia Primária Não Renovável	ENR
	Potencial de Aquecimento Global	GWP		Utilização de Energia Primária Renovável	
	Destruição da Camada de Ozono Estratosférico	ODP			
	Acidificação do Solo e Recursos Hídricos	AP			ER
	Formação de Ozono Troposférico	POCP			
	Eutrofização	EP			

3.3.2.5. Interpretação do Ciclo de Vida (ICV)

A interpretação do ciclo de vida é a fase “na qual os resultados, quer do inventário, quer da avaliação de impacto, ou de ambas são avaliados relativamente ao objetivo e âmbito definidos, com vista à obtenção de conclusões e recomendações”, segundo as orientações da ISO 14044 [37].

Importa salientar novamente o carácter iterativo desta metodologia, sendo necessário interpretar os resultados face aos pressupostos da definição do objetivo e âmbito inicialmente definidos. São tecidas conclusões sobre materiais e processos mais prejudiciais em termos de impacto ambiental potencial do produto, e ainda feitas comparações entre soluções, elucidação de limitações, e recomendações. Os resultados destinam-se a ser analisados por decisores, ou entidades especialistas independentes [37] [2].

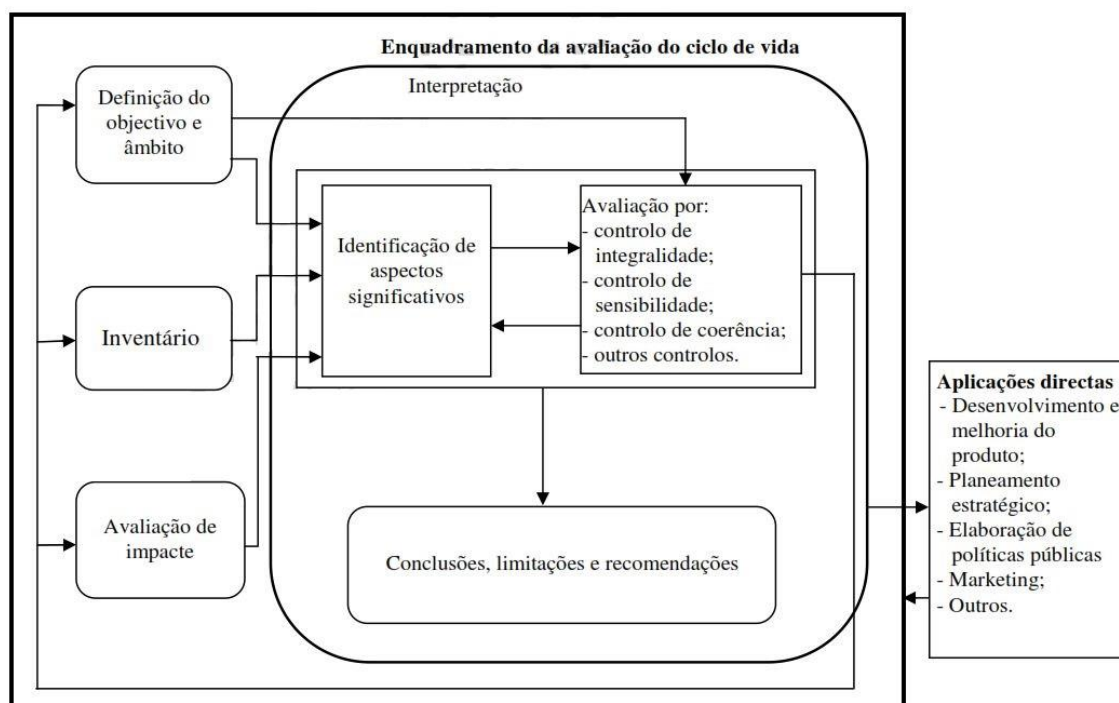
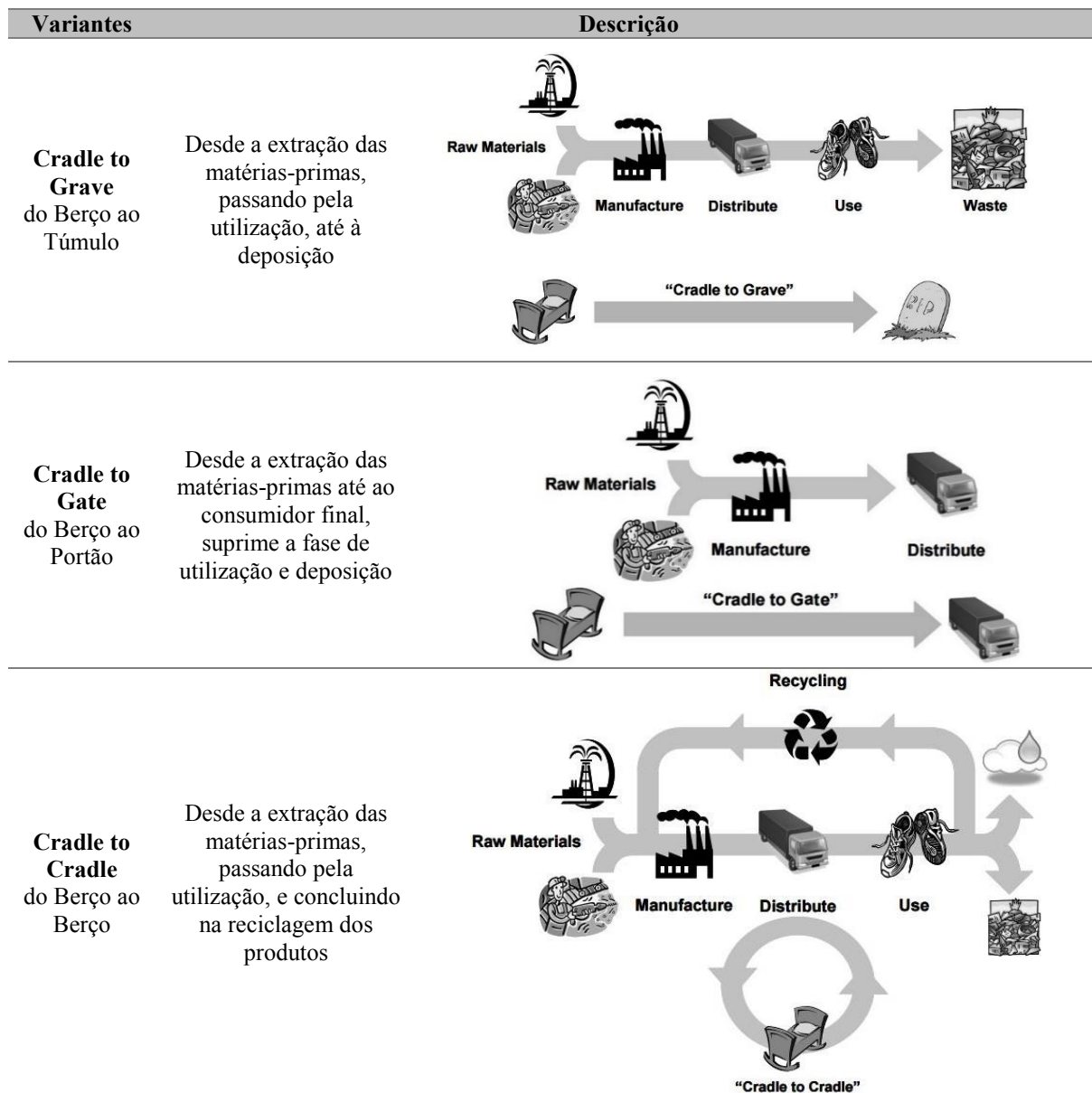


Fig. 3.4 - Interpretação do ciclo de vida, relação entre fases de implementação da ACV [37]

3.3.3. VARIANTES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

A Avaliação do Ciclo de Vida pode ser adaptada às fases do ciclo de vida do produto, ou construção, dividindo-se em três variantes, descritas no quadro seguinte:

Quadro 3.4 - Variantes da ACV, adaptado de [2] [40] [18] [41]



Ao nível das atividades de reabilitação da indústria da construção, sendo considerado como produto a edificação em si, a variante da ACV mais adequada é, quando possível, *Cradle to Cradle*. A reciclagem e reutilização de produtos e materiais que não necessitam de deposição só valorizam não só o aspeto ambiental, como a parte económica, social e estética, facilitando igualmente as atividades de intervenção. A reabilitação de edifícios pressupõe uma ACV nesta perspetiva, com a reciclagem do produto (edifício) com redução do impacte ambiental do ciclo de vida, em comparação com a edificação nova.

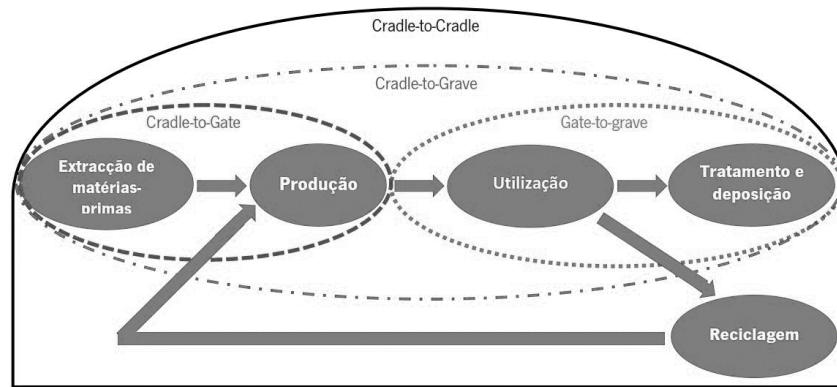


Fig. 3.5 - Fases do ciclo de vida incluídas nas variantes da ACV [2] [18]

3.3.4. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DO CICLO DE VIDA (CCV)

A Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida (CCV), ou *Life Cycle Cost* (LCC) permite a comparação entre soluções construtivas que satisfaçam o mesmo nível de desempenho, através da análise dos custos de investimento do período do ciclo de vida requerido. O objetivo é a escolha da solução construtiva que permita um melhor desempenho económico, com recurso à análise dos custos de investimento inicial, utilização, substituição, manutenção e reparação de componentes, e custos de demolição e deposição [18].

A Avaliação dos Custos do Ciclo de Vida é uma metodologia mais direta e objetiva do que a ACV, baseando-se em dados quantitativos acerca das construções disponíveis em bases de dados, ou ferramentas desenvolvidas especificamente para este tipo de estudos [2].

Esta abordagem não faz parte dos objetivos inicialmente propostos para esta dissertação.

3.3.5. FERRAMENTAS E BASES DE DADOS DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

3.3.5.1. Generalidades

Segundo a Agencia Internacional da Energia, citado em Bragança [2], existem várias categorias de ferramentas de ACV na indústria da construção, dependentes do objetivo, escala de análise, e fase do ciclo de vida dos edifícios:

- Programas informáticos de simulação energética
- Ferramentas de avaliação do desempenho ambiental do ciclo de vida (ACV) dos edifícios
- Metodologias de avaliação da sustentabilidade e sistemas de certificação
- Diretivas e checklists para o projeto e gestão sustentáveis de edifícios
- Declarações ambientais de produtos (DAP's), catálogos, bases de dados, esquemas de certificação e rótulos ambientais

3.3.5.2. Software

Sendo a aplicação da ACV muito complexa, dependente de inúmeras variáveis, nomeadamente a quantidade infundável de materiais, processos construtivos e matérias-primas, tipos de transporte e distâncias, e ainda fornecimento de energia em todas as etapas do ciclo de vida de um produto, torna fundamental a aplicação de *softwares* para tratamento de informação, classificados em três níveis [39] [42] [43]:

- **Nível 1:** utilização para comparação genérica de produtos
- **Nível 2:** ferramentas de agilização da avaliação do edifício na totalidade
- **Nível 3:** quadro de avaliação de todo o edifício

De acordo com a aplicação e detalhe requerido, existem muitos *software* distintos desenvolvidos por vários países, para a avaliação do desempenho ambiental na indústria da construção, nomeadamente para edifícios:

Quadro 3.5- *Software* de ACV para indústria da construção, adaptado de [39] [44] [42] [18]

Nível	Aplicação	Software	País
Nível 1	Utilização para comparação genérica de produtos	<i>GaBi</i>	Alemanha
		<i>SimaPro</i>	Holanda
		<i>OpenLCA</i>	Alemanha
		<i>BEES</i>	EUA
		<i>National Renewable Energy Laboratory's (NREL) U.S. Life-Cycle Inventory /LCI Database</i>	EUA
		<i>Ganzheitliche Bilanzierung Integrated Assessment</i>	Alemanha
Nível 2	Ferramentas de agilização da avaliação do edifício na totalidade	<i>LISA</i>	Austrália
		<i>Eco-Quantum</i>	Holanda
		<i>ATHENA</i>	Canadá
		<i>eTool</i>	Austrália/UK
		<i>Envest</i>	UK
Nível 3	Quadro de avaliação de todo o edifício	<i>BREEAM</i>	UK
		<i>LEED</i>	USA
		<i>BRE</i>	UK
		<i>GBTool</i>	Canadá
		<i>Ecoprofile</i>	Noruega
		<i>Escale</i>	França
		<i>Ecoeffect</i>	Suécia
		<i>LiderA</i>	Portugal
		<i>NABERS</i>	Austrália
		<i>HQE</i>	França

Vários autores utilizam frequentemente o *software* SimaPro para as análises de ciclo de vida nas suas publicações relacionadas com a indústria da construção, com emprego de bases de dados distintas e adequadas caso a caso, dando a compreensão da amplitude mundial desta ferramenta.

Quadro 3.6 - Autores e publicações que utilizam o software *SimaPro*

	Autor	Título do Trabalho/Publicação	Ano	País
[18]	Mateus	Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis	2009	Portugal
[45]	Susca	<i>Enhancement of life cycle assessment (LCA) methodology to include the effect of surface albedo on climate change: Comparing black and white roofs</i>	2011	Itália
[46]	Ribeiro	Sustentabilidade dos produtos de construção - aplicação da análise do ciclo de vida a um perfil de alumínio	2012	Portugal
[47]	Souza, Lafontaine, et al	<i>Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context</i>	2014	Brasil
[48]	Islam, Jollands e Setunge	<i>Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential buildings—A review</i>	2014	Austrália
[49]	Chenani, Lehvävirta e Häkkinen	<i>Life cycle assessment of layers of green roofs</i>	2014	Finlândia
[50]	Rodrigues e Freire	<i>Integrated life-cycle assessment and thermal dynamic simulation of alternative scenarios for the roof retrofit of a house</i>	2014	Portugal
[51]	Napolano, Menna, et al	<i>Life cycle environmental impact of different replacement options for a typical old flat roof</i>	2015	Itália

Os *software* acima descritos no quadro 3.5, incluindo o *SimaPro*, são ferramentas que necessitam de licença comercial tanto no âmbito empresarial como estudantil. Após exploração das características e aplicabilidade de várias ferramentas, a que mostrou maior conceitibilidade de aplicação fora o *OpenLCA*, sendo esta uma ferramenta *código aberto*¹ capaz de importar bases de dados e realizar avaliações e comparações do ciclo de vida de produtos.

No campo de ação desta dissertação verificou-se que não seria plausível a aplicação de nenhum *software* pela falta de bases de dados da indústria acessíveis comercialmente, com período de demonstração ou com licença temporária sem custos para universidades ou estudantes. As bases de dados serão abordadas em seguida.

3.3.5.3. Bases de Dados

As ferramentas acima descritas, tanto as utilizadas na aplicação à generalidade dos produtos, como as mais específicas da indústria da construção utilizam bases de dados que auxiliam a execução do inventário do ciclo de vida (ICV). Estas compreendem conjuntos de informações sobre materiais provenientes de Declarações Ambientais de Produtos (DAP's) ou outros instrumentos ambientais, que serão devidamente elucidados nos pontos posteriores.

¹ Do inglês *open source*, sendo entendido como um software que pode ser usado livremente, alterado e partilhado em forma modificada ou não por qualquer pessoa [97]

Quadro 3.7 - Principais bases de dados para estudos de ACV, [43] [52] [48]

Base de Dados	Descrição
Ecoinvent	Grande variedade de processos incluindo energia, transportes, materiais de construção, produtos químicos, agricultura, gestão de resíduos, etc. da Suíça e Alemanha
IVAM LCA Data	Dados holandeses sobre materiais transportados, energia e tratamento de resíduos
Boustead Model	Ampla base de dados de materiais, produção de combustíveis e energia
Athena database	Consumos energéticos e emissões de produtos de construção ao longo da sua vida útil
Idemat (2001)	Base de dados holandesa compilada a partir de diferentes fontes
GaBi database	Base de dados que inclui processos do setor agrícola, da construção, produtos químicos, eletrónica e TIC, energia, alimentação, metais, mineração de produtos industriais, plásticos, etc.
ETH-SEU	Ampla base de dados suíça centrada em energia, transportes e resíduos
NEEDS	Contém dados de ICV sobre transportes, eletricidade e fornecimento de material
USA National LCI	Processos básicos para construir estudos de ACV
Australian Database	Utilizado essencialmente em centros de investigação e projeto.
Canadian Database	Materiais básicos: alumínio, vidro, plástico, aço e madeira
ICE	<i>Inventory of Carbon & Energy,</i>

Através do levantamento de bases de dados, características e aplicabilidade à indústria da construção, deparou-se com duas limitações fundamentais:

- Bases de dados com licença comercial
- Bases de dados sem licença comercial não possuem especificação de materiais utilizados na indústria da construção
- Bases de dados com indicadores e inputs pouco pragmáticos na realidade de Portugal ou países mediterrâneos.

A base de dados *Ecoinvent* é considerada a mais atual e abrangente, integrando informação contida noutras bases de dados, sendo utilizada por vários autores, e disponível para acesso por vários *softwares* descritos no ponto anterior [18]. Novamente, apenas se encontram disponíveis dados sobre a indústria da construção em versão comercial, e sem especificidade para a realidade portuguesa.

Após levantamento de bases de dados aplicáveis em Portugal, os únicos esforços para desenvolvimento de bases de dados com materiais, produtos e soluções construtivas que permitam um melhor desempenho ambiental e sustentável de um ciclo de vida de um edifício, foram realizados por Ricardo Mateus na sua tese de doutoramento intitulada “*Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios*” [18]. Esta proposta fora publicada pelo mesmo autor, e com coordenação de Luís Bragança [2], permitindo o fácil acesso à comunidade ligada ao setor da construção que pretenda a aplicação de soluções padronizadas, de fácil interpretação e comparação entre soluções na realidade portuguesa.

3.3.6. METODOLOGIA PARA A QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTES DE CICLO DE VIDA DE UM EDIFÍCIO

A metodologia proposta Mateus [18] e publicada por Bragança [2] permite quantificar os impactos ambientais de ciclo de vida de um edifício através do somatório do impacto ambiental de cada elemento construtivo, segundo uma abordagem *bottom-up*.

Na aplicação desta metodologia é necessária a definição da área total das soluções construtivas, que será multiplicada pelos valores dos indicadores de impacto ambiental correspondentes a aplicação da unidade funcional definida inicialmente. Estes indicadores são obtidos através da base de dados da análise de ciclo de vida de materiais de construção, proposta pelos autores, e apresentada no anexo A2. É ainda considerado o impacto no cenário de manutenção e fim de vida nesta fase.

Posteriormente, após a quantificação do impacto ambiental incorporado na solução construtiva dependente da área útil total do edifício e da duração do período de ciclo de vida em avaliação, é adicionado a este valor o impacto associado ao consumo energético para climatização e aquecimento de águas sanitárias, ou seja, os impactos correspondentes à manutenção e consumo de energia na fase de utilização. Resulta então o impacto total do ciclo de vida do edifício para os diferentes indicadores ambientais.

Quadro 3.8 - Princípio a adotar para a quantificação dos impactos de ciclo de vida de um edifício, [2] [18].

Solução (C _i)	Área (m)	Indicadores Ambientais								
C ₁	A ₁	x	ADP ₁ /m ²	GWP ₁ /m ²	ODP ₁ /m ²	AP ₁ /m ²	POCP ₁ /m ²	EP ₁ /m ²	NR ₁ /m ²	R ₁ /m ²
...	...	x
C _n	A _n	x	ADP _n /m ²	GWP _n /m ²	ODP _n /m ²	AP _n /m ²	POCP _n /m ²	EP _n /m ²	NR _n /m ²	R _n /m ²
Impacte Ambiental do Cenário de Manutenção/m ² .ano			ADP _m	GWP _m	ODP _m	AP _m	POPC _m	EP _m	NR _m	R _m
			=	=	=	=	=	=	=	=
			ADP' _e	GWP' _e	ODP' _e	AP' _e	POPC' _e	EP' _e	NR' _e	R' _m
			÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
			Duração em anos do período de ciclo de vida em avaliação							
			÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
			Área útil do edifício							
			=	=	=	=	=	=	=	=
Impacte Ambiental Incorporado no Edifício/m ² .ano			ADP _e	GWP _e	ODP _e	AP _e	POPC _e	EP _e	NR _e	R _m
			+	+	+	+	+	+	+	+
Impacte Ambiental Associado ao Consumo Energético Utilização/m ² .ano			ADP _o	GWP _o	ODP _o	AP _o	POPC _o	EP _o	NR _o	R _o
			=	=	=	=	=	=	=	=
Impacte Total do Ciclo de Vida/m ² .ano			ADP	GWP	ODP	AP	POPC	EP	NR	R

3.4. INSTRUMENTOS AMBIENTAIS E ANÁLISE DO DESEMPENHO AMBIENTAL

3.4.1. ENQUADRAMENTO

A indústria da construção tem um impacto muito acentuado no ambiente, já exposto anteriormente. Os materiais selecionados a empregar numa obra de qualquer índole, afetam negativamente a saúde humana, os ecossistemas naturais e a sustentabilidade em toda a sua expressão. Apresenta-se, portanto, a necessidade utilização de instrumentos ambientais no contexto da construção civil, na avaliação da sustentabilidade dos materiais e tecnologias empregues num projeto.

Na certificação ambiental de materiais está compreendido o conceito de ecoeficiência, entendido por Torgal [1] como materiais que, de entre várias alternativas, apresentam um menor impacto ambiental. É necessário para tal contabilizar todos os impactes ambientais causados desde o início da extração das matérias-primas até à fase de deposição final, ou seja, durante todo o ciclo de vida do material.

Existem instrumentos que permitem a seleção de materiais mais eficientes ecologicamente, baseados no seu desempenho ambiental e na avaliação do seu ciclo de vida, que se distinguem em três tipos de declarações ambientais [7] [46] [43]:

- **Tipo I** – Rótulos Ecológicos
- **Tipo II** – Auto Declarações Ambientais
- **Tipo III** – Declarações Ambientais de Produtos (DAP)

3.4.2. RÓTULOS ECOLÓGICOS

A rotulagem ecológica é uma ferramenta de certificação ambiental, que permite valorizar produtos que proporcionem melhor desempenho ambiental através da aplicação das normas definidas pela ISO 14020 e mais especificamente pela ISO 14024. A primeira define os princípios gerais referentes a rótulos e declarações ambientais, e por sua vez, a segunda que estabelece os princípios e procedimentos para rotulagem ambiental do tipo I [53] [54]. A rotulagem ecológica é feita por um organismo independente, garantindo um desempenho ambiental certificado, de forma mais simples e intuitiva em relação as análises do ciclo de vida [1].

O primeiro sistema de rotulagem ecológica *Blaue Engel*, ou em português ‘anjo azul’ é originário da Alemanha, e data do ano 1978. Este incide nas vertentes de produtos não alimentares, e considera a eficiência de critérios ambientais tais como a utilização de recursos fósseis, emissão de GEE, e consumo de matérias-primas não renováveis [1] [7]. Vários rótulos ambientais foram surgindo ao longo dos anos, dando-se especial aos seguintes:

Quadro 3.9 - Sistemas de rotulagem ambiental, adaptado de [7] [1].

Rótulo:	Blaue Engel	Ecologo	Nordic Swan	NF Environment	EcoLabel
Ano:	1978	1988	1989	1991	1992
País:	Alemanha	Canadá	Finlândia Islândia Suécia Dinamarca	França	Europa
Logotipo					

O rótulo ecológico europeu EcoLabel, criado em 1992, classifica produtos com baixo impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida. Para o setor da construção este incide apenas em tintas, vernizes e revestimentos rígidos para pavimentos [1].

Contudo, apesar da facilidade de aplicação desta ferramenta, existem algumas relutâncias quanto à sua simplicidade e avaliação focada em apenas algumas vertentes ambientais. Um dos aspetos não considerado nesta análise são os impactos decorrentes do transporte dos materiais ou produtos, que, apesar de possuírem certificação com rótulo ecológico, podem ter impactos superiores devido à necessidade de grandes deslocamentos relativamente a produtos locais sem rótulo [1].

3.4.3. AUTO DECLARAÇÕES AMBIENTAIS

As declarações ambientais do tipo II, também designadas por auto declarações ambientais, são normalizadas pela ISO 14021 [55], e entendem-se como uma “*alegação ambiental que é efetuada sem certificação independente de terceira parte por fabricantes, importadores, distribuidores, retalhistas, ou qualquer outra entidade passível de beneficiar destas alegações*”. Estas visam a estimulação da procura de materiais que causem menor pressão sobre o ambiente, através da transmissão de informação referente às especificidades ambientais de forma precisa e que não induzam a erro [55] [7].

3.4.4. DECLARAÇÕES AMBIENTAIS DE PRODUTOS

As declarações ambientais (DAP) ou do inglês *Environmental Product Declarations* (EPD), permitem a quantificação do desempenho ambiental dos materiais e produtos, listando os resultados obtidos em cada uma das categorias de impacto ambiental estudadas. Estas declarações apresentam informação ambiental quantificada sobre o ciclo de vida de um produto, permitindo a comparação entre produtos que desempenhem a mesma função.

São elaboradas segundo a ISO 14025 [56], e da ISO 14040 [38] baseando-se portanto na avaliação do ciclo de vida do produto, segundo os indicadores [1] [2] [7] [56] [38]:

- Consumo de energia renovável e não renovável
- Potencial de aquecimento global
- Potencial de degradação da camada de ozono e de criação de ozono fotoquímico
- Potencial de acidificação e eutrofização

Relativamente aos produtos de construção, devido à falta de especificação na ISO 14025 que define apenas as orientações gerais relativas às declarações ambientais, a ISO 21930 especifica as regras das declarações ambientais de produtos de construção. O Comité Europeu de Normalização (CEN) publicou ainda em 2010, o relatório técnico CEN/TR 15641 que estabelece a metodologia para a seleção e utilização de informação no desenvolvimento de DAP's [2].

Genericamente, as declarações ambientais do tipo III baseiam-se na aplicação da metodologia de ACV, explorando indicadores sobre conteúdo reciclado ou reciclável, durabilidade, condições de utilização, operações de transporte, manutenções e substituições, conteúdo energético recuperável, entre outros [7].

Importa salientar que, em comparação com os rótulos ecológicos ou declarações ambientais do tipo I, as DAP's não permitem inferir à partida um nível de desempenho ambiental, uma vez que limitam-se a disponibilizar informações sobre o desempenho ambiental do produto [7] [1].

4

ANÁLISE CRÍTICA DA APLICABILIDADE DA ACV NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

4.1. ENQUADRAMENTO

No seguimento da descrição da ACV, das fases e procedimentos adotados, e das ferramentas que permitem a sua aplicação, pretende-se com este capítulo uma análise crítica essencialmente realizada na primeira pessoa, sobre a sua aplicabilidade à indústria da construção.

Tal como já fora referido anteriormente, a ACV é uma metodologia que permite a quantificação dos potenciais impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto, sendo no caso da indústria da construção a designação de produto aferida a um material, um conjunto de materiais ou componente, ou um combinado de componentes formando o edifício. Logo na definição de ‘produto’ insere-se a ambiguidade e amplitude de aplicação da metodologia.

Os impactes ambientais poderão ser resultado da energia utilizada, dos materiais consumidos e dos resíduos libertados durante todo o ciclo de vida. Novamente torna-se necessária a definição rigorosa destes fatores. O setor da construção, em contraposição com outros setores industriais, apresenta padrões de consumo, processos de produção, produtores, e produtos muito particulares. Aliás, é possível dizer que é irrealista a conceção de dois produtos, habitualmente edifícios, com padrões de consumo iguais, tanto na especificidade e quantidade de materiais e recursos energéticos consumidos como em resíduos produzidos, não só pela singularidade da execução, como também pelos padrões de utilização durante a vida útil.

Novamente, o outro parâmetro difícil de contabilizar é a vida útil. A variabilidade deste parâmetro difere consideravelmente entre a indústria da construção e outras indústrias. Como já fora mencionado adequadamente no capítulo anterior, a vida útil de referência de um edifício é de 50 anos na generalidade dos casos, sobretudo de habitação. A definição dos cenários de fim de vida, e a previsibilidade sobre o estado de desenvolvimento dos processos de reciclagem, reutilização ou até mesmos dos procedimentos de demolição e gestão de RCD são apenas conjecturáveis a tão longo prazo.

Importa ainda salientar a quantidade de intervenientes e produtores relacionados com o processo de construção. Dando especial atenção aos produtores de materiais, e às exigências atuais sobre os atributos dos produtos, nomeadamente sobre a qualidade ambiental dos mesmos, a certificação ambiental é habitualmente um dos fatores de seleção de produtos. Posto isto, interessa aos produtores possuírem certificados ou rótulos ecológicos associados aos seus materiais e produtos. No entanto, a possibilidade de manipulação e adulteração de informações disponibilizadas pelos mesmos no momento de certificação, põe em causa a objetividade de todo o processo.

As DAP, como sistema de certificação ambiental, permitem a obtenção de informação sobre o desempenho ambiental de produtos e materiais, contudo não são de carácter obrigatório, resultando, segundo Bragança [2], numa escassez de documentos publicados de acesso livre ao consumidor.

A ACV permite a implementação de medidas com vista ao melhoramento do desempenho ambiental, e permite a comparação entre produtos e a seleção daqueles que apresentam maiores vantagens. Como tal, são necessárias várias simulações, com parâmetros muito numerosos sobre processos de fabrico, energia, matérias-primas, transporte, entre muitos outros, tornando essencial e imprescindível a utilização de ferramentas informáticas para a manipulação de tamanha quantidade de informação e variáveis quando o produto em estudo é um edifício. Bragança [2] suporta esta afirmação, referindo que a metodologia de ACV não é correntemente utilizada na avaliação dos impactes ambientais de edifícios, dada a complexidade das fases do método de ACV e pela grande variedade de materiais e processos utilizados no seu ciclo de vida.

4.2. APLICABILIDADE DE SOFTWARE E BASES DE DADOS

Existe atualmente muita oferta de *software* e ferramentas que auxiliam a aplicação da dimensão ambiental da ACV na construção. A dificuldade está na seleção da ferramenta mais indicada para o estudo pretendido. A implementação de variáveis económicas e principalmente sociais no estudo de ACV de edifícios não é correntemente adotada, pela dificuldade em comparar parâmetros quantitativos com qualitativos, como é o caso dos valores sociais [2].

Os programas informáticos e ferramentas de avaliação do desempenho ambiental não são aplicáveis globalmente, estando contextualizados às especificações e particularidades do país em que se inserem. As ferramentas de avaliação do desempenho ambiental do ciclo de vida dos edifícios recorrem a bases de dados com inventários de ciclo de vida de materiais para a avaliação de impactes ambientais. Estas bases de dados são desenvolvidas localmente, e dependem da participação de fornecedores e produtores de materiais. Como tal, é questionada a objetividade e aplicabilidade da utilização de bases de dados com inventários de ciclo de vida em regiões que não possuam o seu próprio inventário, como é o caso de Portugal. Islam [48] afirma que a escolha da base de dados de inventário de ciclo de vida é uma decisão muito importante em qualquer análise de ciclo de vida, salientando que os resultados serão sempre válidos para a região em estudo, mas têm comparabilidade limitada em estudos realizados em outras regiões.

A região, ou até mesmo o país ou o continente de estudo, influencia os resultados da ACV não só pela inconstância de condições climáticas como das necessidades energéticas, matérias-primas, processos construtivos, eficiência de equipamentos, hábitos de consumo da população, entre muitas outras variáveis. Mais um indicador da singularidade da aplicação de bases de dados locais.

A ISO 14040 [38] identifica como uma das limitações da aplicação da ACV a não consideração de todos os processos unitários possíveis para um sistema de produto, resultando em lacunas e omissões de dados na entrada e saída de dados dos processos referidos.

Rashid e Yusoff [39] declaram que, apesar da vasta extensão de informação disponibilizada em bases de dados, nenhuma estará verdadeiramente completa, sendo portanto necessário a validação de dados, a correção, e a complementaridade entre ferramentas ou meios de obtenção de dados.

Mateus [18] afirma ainda que é difícil a utilização de bases de dados onde estejam incorporados nos impactes ambientais dos materiais, os impactes associados à extração, transporte e processamento de matérias-primas (já identificados anteriormente como *Cradle-to-Gate*).

4.3. LIMITAÇÕES DOS ESTUDOS DE CICLO DE VIDA

4.3.1. DELIMITAÇÃO DE CONDIÇÕES DE FRONTEIRA E CONDIÇÕES ADMITIDAS

No sentido de colmatar os obstáculos supramencionados, essencialmente ligados com a complexidade de informação, dados, e suposições, a ACV prevê a prescrição de condições de fronteira.

As principais limitações das condições de fronteira envolvem a não consideração de todas as dimensões do desenvolvimento sustentável, focando-se apenas na vertente ambiental e descurando a social e a económica. Mesmo dentro da vertente ambiental, existem algumas qualidades que não são ponderadas. Por sua vez, os impactes ambientais são considerados constantes no tempo. Não existe consideração de nenhuma taxa de variação de impactes a longo prazo, tanto nos processos referentes à produção de materiais, como durante o período de exploração, mesmo observando a crescente influência das energias renováveis no desempenho energético das habitações.

Para além dos problemas relacionados com a localização geográfica referentes à variabilidade de tipologias construtivas, padrões de consumo, disponibilidade de materiais, clima, e com o período de vida útil considerado, é necessária a definição de outros pressupostos e cenários para a condução de uma ACV.

Em relação à definição da unidade funcional, imprescindível como referência para os dados de entrada e saída bem como para as operações de normalização e ponderações da ACV, deve ser selecionada a melhor unidade para os objetivos e caso em estudo. Pode estar relacionada com área, massas de componentes, unidades de energia, e pode ser referente a unidades unitárias ou a unidades totais. Segundo Islam [48] as unidades funcionais mais usuais para o estudo de uma habitação são o ‘um metro quadrado’ ou ‘edifício total’. Deste modo, só é permitida até determinado ponto, uma comparação entre edifícios com as mesmas características. Islam acrescenta ainda que, a unidade funcional só é comparável entre sistemas que sirvam as mesmas funções. Chau [57], por sua vez, salienta que a escolha de unidade funcional distinta resulta em diferenças muito significativas nos resultados de impacte ambiental.

A fronteira do sistema, correspondente às suposições temporais, espaciais e limitações consideradas no estudo, são usualmente definidas numa perspetiva *Cradle-to-Gate*, *Cradle-to-Grave* ou ainda *Gate-to-Gate* (noções já diferenciadas no ponto 3.5.3.). A inclusão ou exclusão de fases do ciclo de vida do produto tem implicações muito significativas no resultado do impacte ambiental, e naturalmente, na comparação entre soluções.

Para além da inclusão de fases do ciclo de vida, é importante a definição dos parâmetros considerados em cada uma delas. Islam [48] exemplifica dois cenários para a fase de utilização de um edifício. O primeiro considera apenas a energia para aquecimento e arrefecimento do ar, o segundo considera ambos e adiciona ainda a energia para aquecimento de águas sanitárias, para equipamentos e iluminação. A inclusão de dados extras na utilização de energia operacional, no segundo cenário, resulta num aumento relativo de emissões de GEE da fase de utilização em comparação com a fase de construção.

Já fora mencionada a imprevisibilidade na definição da vida útil de referência de um edifício. Para além da vida útil do edifício, sendo este constituído por componentes e materiais tão diversos, é necessário considerar também cenários de manutenção e substituição de materiais com durabilidades muito variáveis. As previsões destes cenários dependem dos materiais, do clima, das técnicas de aplicação, das particularidades de utilização, entre muitas outras.

4.3.2. FIABILIDADE DOS INDICADORES DE IMPACTE AMBIENTAL E METODOLOGIA

A avaliação do desempenho ambiental através de sistemas de avaliação da sustentabilidade não pressupõe a aplicação de uma metodologia exata de ACV, e não possui um conjunto de categorias de impacto ambiental normalizado. Como tal, os indicadores ambientais variam de sistema para sistema, dificultando a comparação de resultados [2]. O CEN estabeleceu seis categorias de impacto ambiental na tentativa de padronizar a utilização direta dos indicadores ambientais, já descritas no capítulo anterior.

A avaliação das categorias de impacto ambiental, procedimento inserido na fase de avaliação do impacto do ciclo de vida da metodologia de ACV, compreende a distribuição de emissões e recursos pelas categorias de impacto mais relevantes para o estudo. Existe logo a subjetividade da identificação das categorias mais relevantes, que para além de serem distintas de projeto para projeto, dependem da equipa associada e das suas competências.

Após o reconhecimento das categorias de impacto ambiental, e da identificação das emissões e resíduos produzidos, é ainda necessário o estudo da contribuição destes em cada categoria ambiental originando fatores de caracterização. É indispensável ainda a definição exata destes fatores, que vão diferir de acordo com o método de avaliação do ciclo de vida selecionado.

A própria ISO 14040 [38], que descreve os princípios e enquadramento da ACV, identifica a existência de *“desenvolvimento limitado dos modelos de caracterização, análise de sensibilidade e análise de incerteza para a fase de AICV”*, para além da não existência de metodologias amplamente aceites para a associação de dados de inventário com as categorias de impacto ambiental.

Chau [57] afirma ainda que podem ocorrer discrepâncias na interpretação de resultados de desempenho ambiental proporcionando diferentes escolhas de soluções construtivas, se os tipos de categorias de impacto ambiental e se os métodos considerados forem diferentes.

5

REABILITAÇÃO DE COBERTURAS

5.1. ENQUADRAMENTO

O parque habitacional português espelha uma construção anterior a 1990, cerca de 70% do edificado, tendo sido construído sem respeitar qualquer documento normativo referente ao desempenho térmico ou energético. De facto, o primeiro Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), ao abrigo do Decreto-Lei 40/90 de 6 de Fevereiro, entrou em vigor em 1990 revelando um enorme potencial para reabilitação energética do edificado existente [58] [20]. Atualmente rege o Decreto-Lei 118/2013, especificando o Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) [59].

5.2. PARQUE EDIFICADO PORTUGUÊS

5.2.1. CARACTERIZAÇÃO E ESTADO DE CONSERVAÇÃO

A construção nova teve maior expressão nas décadas de 1970 a 2000, decaindo em número de edifícios concluídos nos anos seguintes [60] [61]. Em 2011 registava-se uma diminuição acentuada dos edifícios anteriores a 1946, resultado de demolições, alteração da função para uso não habitacional ou efeito de obras de reabilitação e consequente alteração da época construtiva do edifício [61].

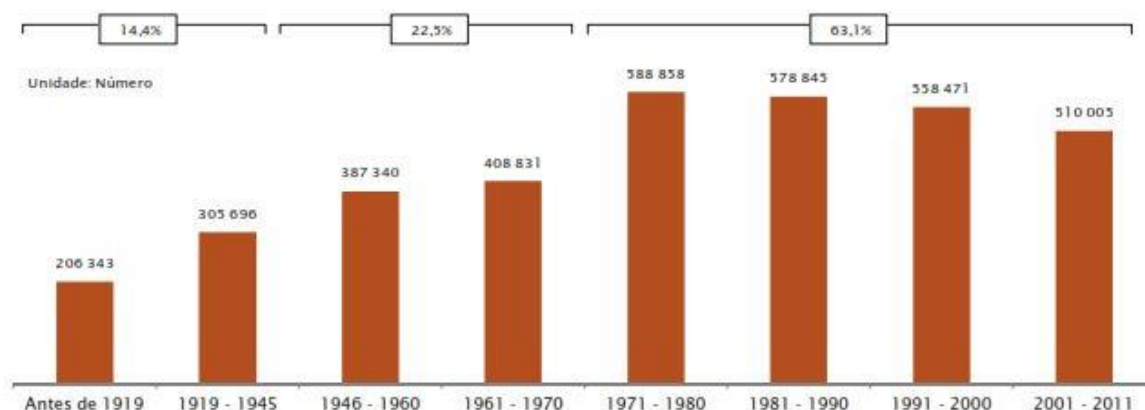


Fig. 5.1 – Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício [61]

O parque edificado português em 2013 possuía cerca de 3,6 milhões de edifícios clássicos, em que 71% das edificações encontrava-se em bom estado de conservação, sem necessidade de intervenção. Este valor sugere um índice de envelhecimento pouco acentuado dos edifícios, resultado do número de edifícios construídos até 1960 ser inferior do dobro do que aqueles que foram construídos na primeira década de 2000 [62].

Por sua vez, 1,7% das edificações encontravam-se classificadas como muito degradadas, e 27,3 % careciam de reparações, revelando uma melhoria percentual em relação à década anterior, justificável pela diminuição de registos de construção nova e importância relativa acrescida das intervenções de reabilitação [62]. A idade média dos edifícios em 2001 era de apenas 34 anos, fazendo do edificado português um dos mais jovens da União Europeia [63].

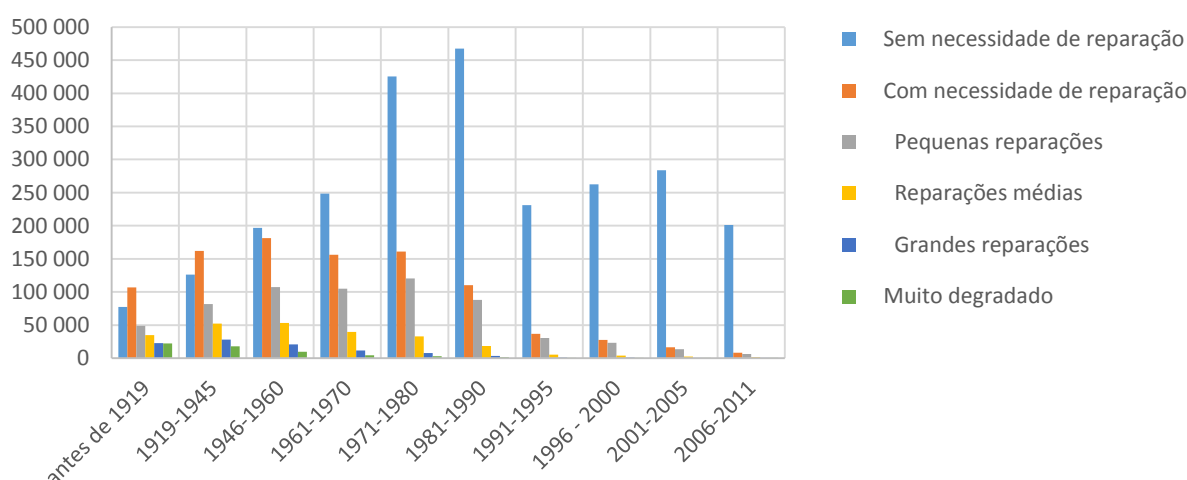


Fig. 5.2 - Estado de conservação por época de construção dos edifícios

Alguns dos problemas apresentados pelo parque habitacional português são enumerados no quadro 5.1, e resultam em incumprimento das exigências funcionais dos edifícios [64]:

Quadro 5.1 - Problemas correntes do parque habitacional português [64]

Problemas	Causas Frequentes
Falta de durabilidade dos materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Materiais de baixa qualidade e perda precoce de funcionalidade • Erros de projeto e incorreta aplicação • Materiais adotados não adequados para o desempenho • Falta de manutenção
Humidades	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilação insuficiente • Insuficiente isolamento térmico • Inexistência ou deficiente posicionamento de barreiras estanques nas paredes (humidades de terreno) • Infiltrações de água • Falta de manutenção
Insuficiente Qualidade do Ar	<ul style="list-style-type: none"> • Condições de ventilação deficientes • Compartimentos com volumes reduzidos • Compartimentos sem janelas, ou janelas reduzidas • Conduções de evacuação de ar mal dimensionadas • Utilização de materiais emissores de poluentes

Problemas	Causas Frequentes
Ineficiência Energética	<ul style="list-style-type: none"> • Envolvente opaca com isolamento térmico insuficiente • Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados • Falta de proteção solar • Ventilação descontrolada • Iluminação incorreta • Dimensão, forma e tipo de envidraçado desfavorável • Cor do material utilizado nas superfícies da habitação e edifícios • Iluminação artificial ineficiente • Equipamentos com elevados consumos energéticos • Falta de manutenção de equipamentos
Consumo Excessivo de Água	<ul style="list-style-type: none"> • Inadequada seleção ou montagem de materiais • Equipamentos com baixa eficiência hídrica • Não reutilização de águas pluviais em autoclismos e lavagens
Falta de Conforto Acústico	<ul style="list-style-type: none"> • Fraca qualidade acústica dos vãos envidraçados • Insuficiente espessura ou inexistência de isolamento acústico entre fogos • Pavimentos demasiado rígidos • Inexistência ou mau dimensionamento de isolamento acústico em instalações

Em 2011 registavam-se 93,3 % da utilização dos edifícios exclusivamente para habitação, residencial [61]. Os edifícios principalmente não residenciais, ou com a maior parte da área afeta a fins diferentes da habitação como o comércio e serviços, representa a minoria, com apenas 0,7 % da totalidade dos edifícios portugueses.

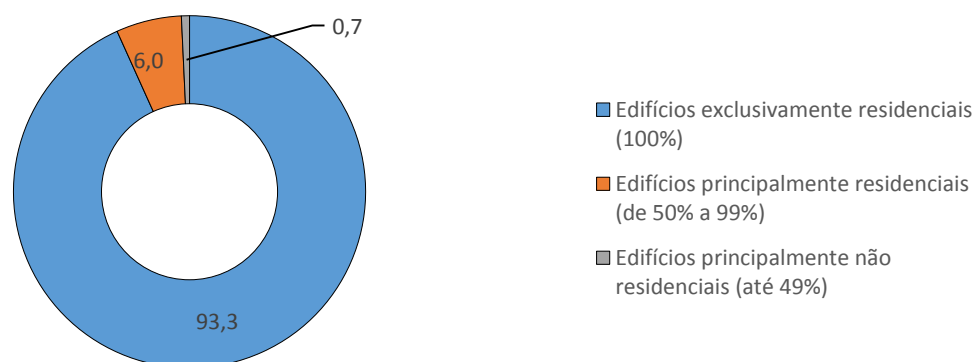


Fig. 5.3 - Proporção de edifícios, em percentagem, segundo o tipo de utilização [62]

Em termos de habitação nova, os dados mais recentes publicados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) referentes ao ano de 2013 evidenciam um valor de 60,3% de edifícios licenciados com destino maioritariamente à habitação, mostrando um decréscimo de cerca de 18% relativamente ao ano de 2011. O peso relativo da reabilitação em relação à construção nova apresentou crescimento em 2013, sendo igualmente a habitação familiar o principal destino das obras de reabilitação [60].

5.2.2. COBERTURAS

As coberturas do edificado português no início do século XX eram, na sua generalidade, do tipo inclinadas com revestimento a telhas cerâmicas ou de betão. Com o evoluir das décadas a cobertura em terraço começou a ser escolhida em alternativa, atingindo em 2011, perto de 10% das escolhas arquitetónicas na construção nova de edifícios em Portugal [61]

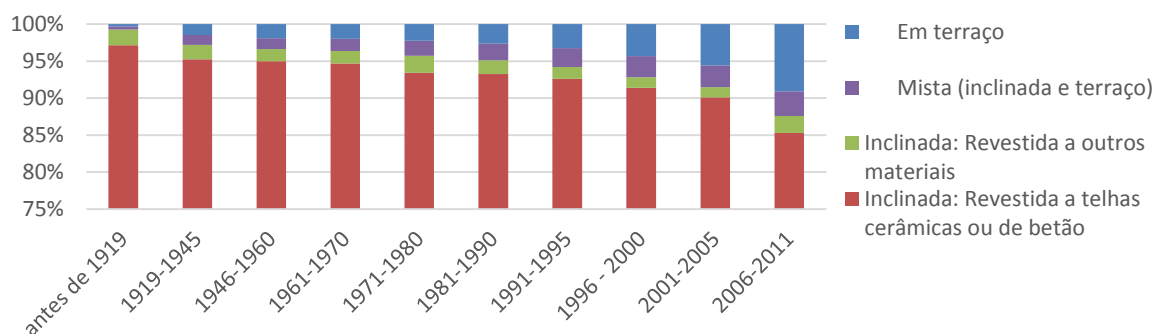


Fig. 5.4 - Distribuição de edifícios segundo o tipo de cobertura, por época de construção [61]

Ainda com dados dos censos de 2011, realizados pelo Instituto Nacional de Estatística, constata-se que o parque edificado português era representado essencialmente por coberturas inclinadas revestidas a telhas cerâmicas ou de betão, com um valor de 93,1 % do número total de edifícios [62].

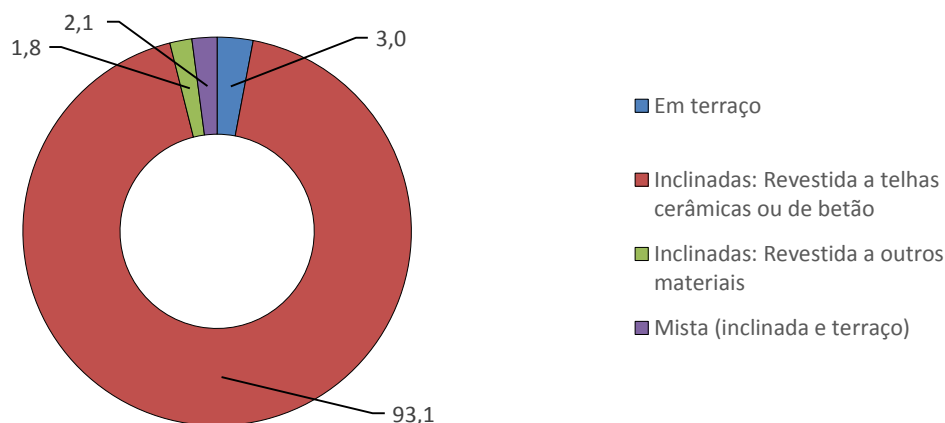


Fig. 5.5 - Proporção de tipos de cobertura para a totalidade dos edifícios [62]

Para o mesmo ano, 2011, havia predominância de edifícios de baixa altura com 1 ou 2 pisos, os quais representavam 84,9 % da totalidade de edifícios. Estes revelaram um aumento relativo mais elevado na última década na ordem dos 20% [61].

Relacionando o número de pisos com a seleção do tipo de cobertura, é notória a preferência de coberturas inclinadas revestidas a telhas cerâmicas ou de betão para os edifícios de baixa altura. Esta tendência é atenuada à medida que o número de pisos cresce, aparecendo maior percentagem de coberturas em terraço para edifícios em altura [62].

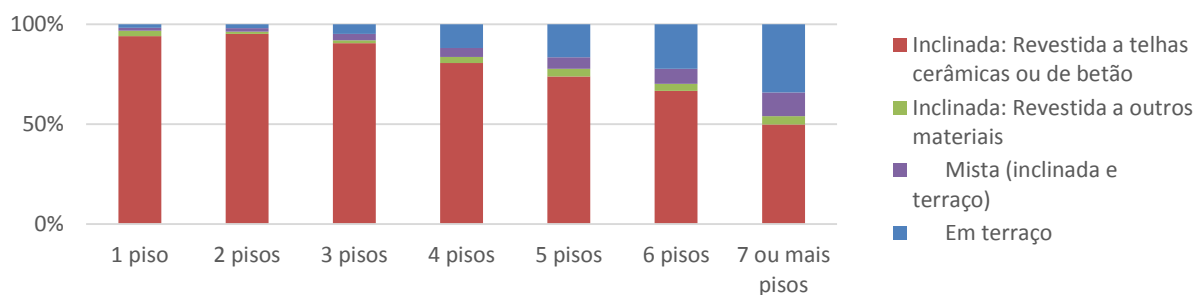


Fig. 5.6 - Tipos de cobertura, por número de pisos

O estado de conservação das coberturas, segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística, releva menor necessidade de reparação deste elemento nas edificações com data de construção (ou reconstrução) mais recente [62].

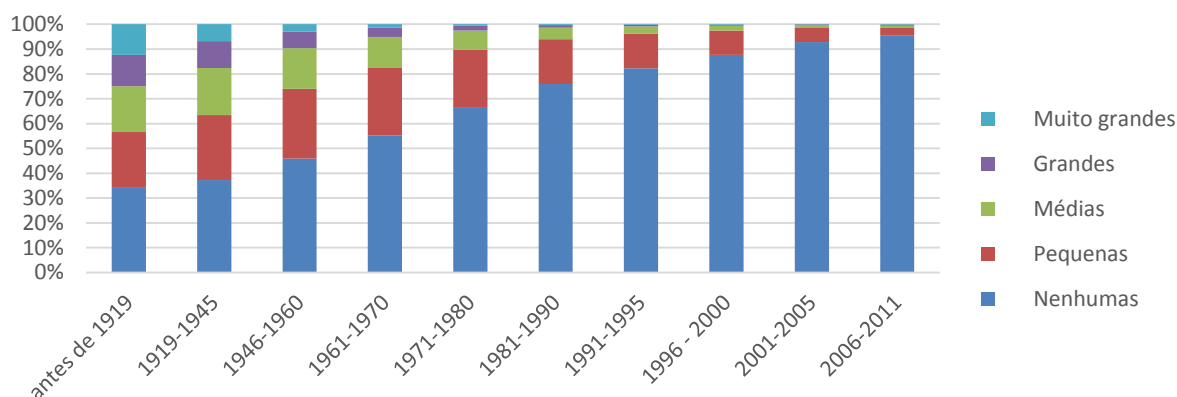


Fig. 5.7 - Necessidades de reparação na cobertura, por época de construção [62]

Quanto mais antigas são as edificações, mais gravosas são as carências de reparação das coberturas, justificável pela excedência do período de vida projetado na época de construção das mesmas (para a maioria dos edifícios, correspondente a 50 anos) [62].

A figura seguinte mostra os três períodos de vida passíveis de dividir o tempo de vida útil de um edifício de acordo com o seu desempenho. Na entrada em serviço, são necessários ajustes à habitabilidade que podem ocorrer entre 3 a 5 anos, potenciadas pelo utilizador do edifício. O período mais longo de utilização de um edifício, ou seja, a vida útil corrente, é usualmente compreendido entre os 5 e os 50 anos, dependendo das ações de manutenção realizadas neste período [65]. É a partir desta faixa etária que os edifícios do parque habitacional começam a apresentar maiores necessidades de reparação na cobertura [62], onde os elementos construtivos apresentam níveis de desempenhos inaceitáveis e a reabilitação é necessária para a permanência de utilização do edifício [65].

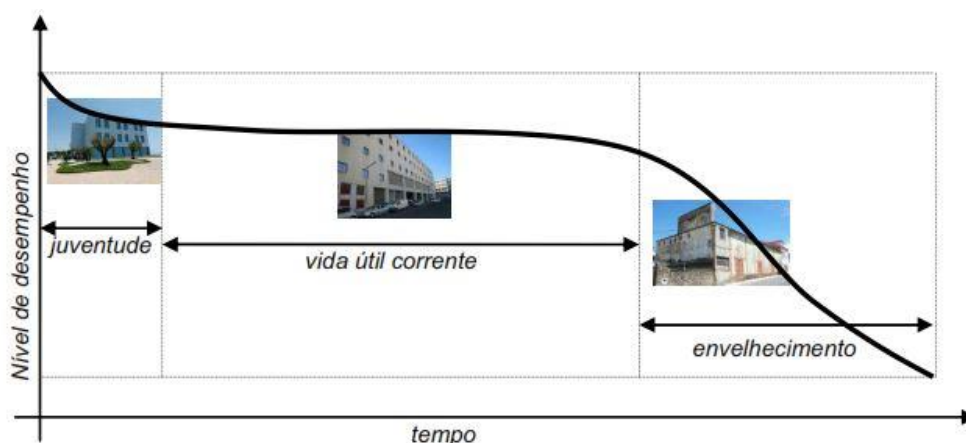


Fig. 5.8 - Curva de desempenho de um edifício ao longo da sua vida útil [65]

5.2.3. SETOR ENERGÉTICO

A produção e consumo de energia é um dos grandes influenciadores das alterações climáticas, através de emissões de gases com efeito de estufa, como o CO₂, e da exploração de combustíveis fósseis com

disponibilidade finita [66]. Em 2012 o setor da energia contribuiu com 69,4% para as emissões nacionais de GEE [66].

Inerentes aos problemas manifestados pelo parque habitacional português, enumerados no quadro 5.1, nomeadamente em termos de ineficiência energética, os consumos energéticos domésticos mostram grande significância. Como tal, dados referentes ao tipo de consumo de energia em Portugal, presentes na figura 5.9, revelam grande utilização de energia em transportes, em indústrias e em consumos domésticos [67]. Os consumos domésticos referem-se ao consumo exclusivo de habitações, nomeadamente aquecimento e arrefecimento ambiente, iluminação, equipamentos elétricos e aquecimento de águas [68] [66].

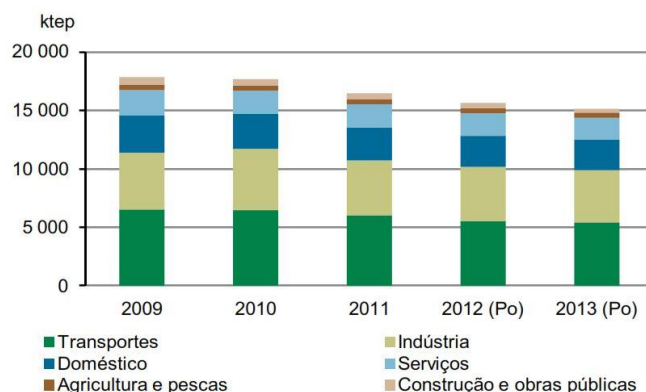


Fig. 5.9 - Consumo de energia final por setor de atividade, em Portugal [66]

O consumo de energia total mostra um decréscimo contínuo de 10,2% no período de 2009 a 2012, promovido pela diminuição da utilização de recursos petrolíferos, nomeadamente o petróleo como fonte de energia primária. Estes valores têm em vista o cumprimento das metas estabelecidas para 2020, relativamente à redução do consumo de energia primária em 25% [66].

Portugal não possui reservas de energias fósseis passíveis de serem exploradas, porém dispõe de muitos recursos endógenos como água, vento, sol e biomassa, que permitem uma grande aposta nas energias renováveis e garante vantagens no alcance da eficiência energética. Uma das metas a atingir até 2020 refere uma quota de 60% no consumo final bruto de energia proveniente de energia renovável. A contribuição de fontes renováveis, entre 2009 e 2013, correspondeu a 22,4% no consumo total de energia primária, e em relação à produção total de eletricidade o valor ascendeu a 48,8%. Em comparação com a restante comunidade europeia, Portugal é uma referência na aposta em energias renováveis [66].

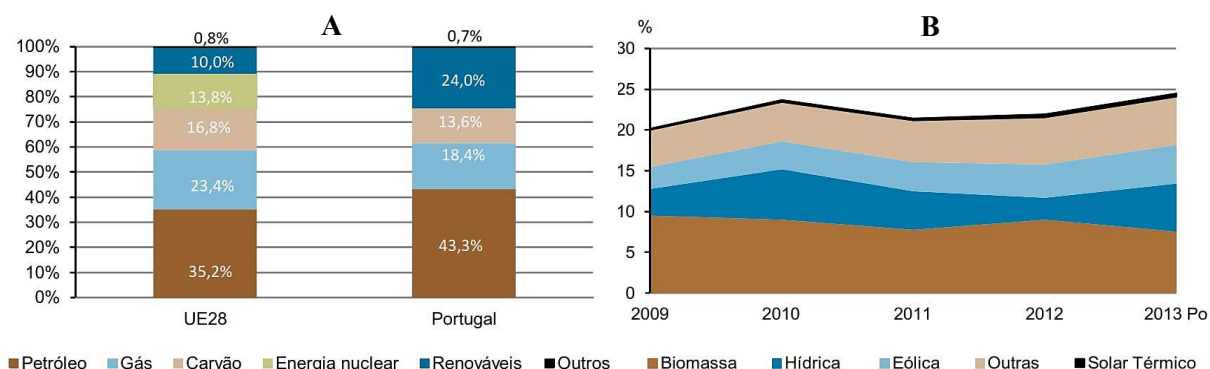


Fig. 5.10 – A) Consumo de energia primária por fonte energética. B) Proporção de fontes renováveis no consumo de energia primária em Portugal. DGE citado em [66].

5.3. COBERTURAS

5.3.1. ENQUADRAMENTO

A cobertura é um dos principais componentes da envolvente de um edifício, sendo este o que apresenta maior exposição e suscetibilidade aos agentes atmosféricos, tais como a radiação solar, a chuva e o vento. Tem como objetivo essencial a proteção do edifício, e tem um papel muito importante no conforto térmico do seu interior. [69] [70].

As coberturas de um edifício podem ser diferenciadas de acordo com a pendente que apresentam, entre coberturas inclinadas e coberturas planas ou em terraço, sendo ainda distinguível nestas últimas a cobertura tradicional da cobertura invertida. Todas devem cumprir com requisitos básicos e exigências funcionais.

A cobertura inclinada, a mais frequente em Portugal, tem como principal funcionalidade o escoamento da precipitação, e em relação às coberturas em terraço, apresenta um défice no aproveitamento da área útil mesmo quando apresentam um vão habitável. Em contrapartida, podem apresentar benefícios na qualidade do ar e no comportamento térmico de verão por possibilitar a ventilação abundante através de um espaço de ar ventilado e drenado sobre o revestimento no caso de desvão habitável, ou do próprio desvão quando não habitável.

As coberturas mistas, referidas no enquadramento do parque edificado português, podem ser compreendidas como uma combinação de cobertura inclinada e plana numa mesma solução arquitetónica [70].

5.3.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

Segundo a Diretiva dos Produtos de Construção [71], as partes que integram uma obra de construção, na sua generalidade, necessitam de cumprir certos requisitos básicos para o período de vida útil economicamente razoável, tais como:

- Resistência mecânica e estabilidade
- Segurança contra incêndio
- Higiene, saúde e ambiente
- Segurança e acessibilidade na utilização
- Proteção contra o ruído
- Economia de energia e isolamento térmico
- Utilização sustentável dos recursos naturais

A manutenção de níveis adequados de desempenho das coberturas será garantida através da satisfação de exigências funcionais, onde se encontram englobados os requisitos básicos descritos, dividindo-se em quatro grupos: segurança, habitabilidade, durabilidade e economia [72].

Relativamente às exigências de segurança, as características essenciais do dimensionamento da cobertura tanto inclinada como em terraço prende-se na garantia de segurança para ações de carga variável e peso próprio, bem como resistir a ações de agentes atmosféricos, e evitar a propagação de incêndios [70].

As exigências de habitabilidade estão intimamente relacionadas com a conexão entre os utilizadores e as suas necessidades, e o edifício e as exigências funcionais. As noções ligadas a conforto, tanto higrotérmico, acústico, como de aspeto visual são consideradas nesta fase, onde são tidos em conta as questões de isolamento térmico e acústico, proteção solar, iluminação natural, estética, entre outras. A

estanquidade é também um ponto importante, sendo uma das principais funções das coberturas a proteção do interior do edifício contra agentes externos [70].

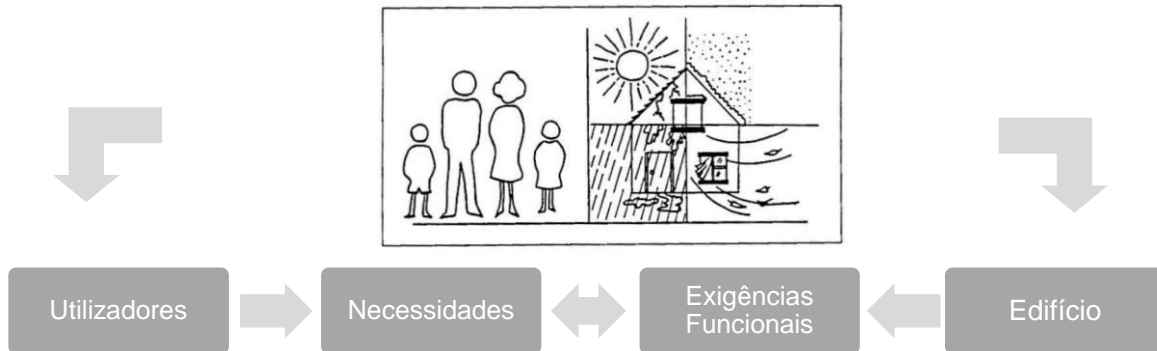


Fig. 5.11 - Binómio utilizadores e necessidades com edifício e exigências funcionais, adaptado de [73].

É requerida também exigências de durabilidade das coberturas em terraço e inclinadas, garantida pela conservação das caraterísticas dos materiais e respeito da vida útil de projeto através de operações de manutenção, limpeza e reparação [70].

Todo o procedimento de seleção e dimensionamento de uma cobertura, bem como o processo construtivo deve garantir a máxima economia satisfazendo sempre as necessidades dos utilizadores e as exigências funcionais do edifício. O conceito de economia engloba não só o esforço financeiro de construção, exploração, manutenção e reparação, mas também a preocupação ambiental associada a todas as fases do ciclo de vida da cobertura [70].

Em seguida apresenta-se um quadro síntese das principais exigências que as coberturas inclinadas e em terraço devem respeitar.

Quadro 5.2 - Classificação das exigências funcionais de coberturas inclinadas e em terraço, adaptado de [72] [74].

Exigências de Segurança	Segurança estrutural	Dimensionamento para combinação de ações
	Segurança contra os riscos de incêndio	Comportamento ao fogo dos elementos de construção
		Reação ao fogo dos materiais
	Segurança contra ações por utilização	Ações de punçoamento
		Ações de choque acidentais
Exigências de Durabilidade	Resistências das camadas não estruturais a outras ações	Ações dos agentes atmosféricos
		Variações das condições ambientais interiores
	Manutenção do desempenho	Conservação das resistências mecânicas
		Conservação dos materiais
		Resistência a ações decorrentes do uso normal
	Limpeza, manutenção e reparação	

Exigências de Habitabilidade	Estanquidade		Água
			Neve
			Poeiras
			Permeabilidade ao ar
	Conforto higrotérmico	Conforto de Inverno	Isolamento térmico
			Risco de condensações
		Conforto de Verão	Isolamento térmico
			Proteção solar
	Controlo das correntes de ar		
	Conforto acústico		Sons aéreos
			Sons de percussão
	Conforto visual		Iluminação natural
			Refletividade da camada de proteção
	Conforto ao toque		Rugosidade e aspereza das superfícies
			Existência de arestas vivas
	Disposição de acessórios e equipamento		
	Aspeto exterior e interior		Linearidade das arestas
			Planeza e defeitos da superfície
			Limitação da ocorrência de manchas
	Qualidade do ar		Possibilidade de regulação da ventilação
			Limitação da emissão de odores pelos materiais
	Higiene		Limitação da ocorrência e desenvolvimento de substâncias nocivas ou insalubres
Exigências de Economia	Limitação do custo global		Custos de construção
			Custos de manutenção
			Custos de reparação
	Economia de Energia		Custos de exploração
Outras	Estabilidade geométrica		
	Processo construtivo		
	Sustentabilidade		

5.3.3. COBERTURAS INCLINADAS

A cobertura inclinada é o sistema construtivo mais utilizado em Portugal, como já foi visto anteriormente. Estas são caracterizadas por superfícies planas inclinadas, designadas por *água* [75], com inclinações superiores a 8%, sendo esta a característica fundamental deste tipo de coberturas [76]. Este atributo depende da exposição ambiental a que esta será sujeita, sendo a ação do vento, precipitação e neve os principais atuantes. O tipo de utilização do espaço interior é definido pela forma e revestimento da superfície plana [77].

O sistema de coberturas inclinadas é constituído pela conjugação de vários elementos, representados na figura 5.12, que podem ser construídos em madeira, metal, betão armado, ou até numa combinação destes materiais [76].

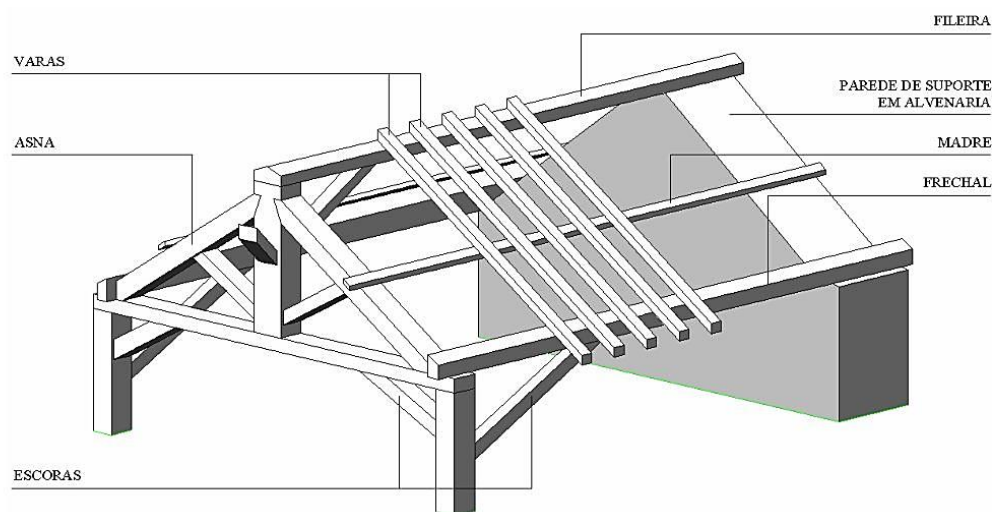


Fig. 5.12 - Esquema estrutural da cobertura inclinada [77]

A estrutura de suporte pode ser classificada em:

- Descontínua, quando a estrutura possui todos ou alguns elementos representados na figura 5.12, asnas, madres, varas e ripas (estes últimos com função de suportar o travamento das linhas das asnas) [75] [76];
- Monolítica ou contínua, quando é constituída por laje maciça ou aligeirada [75];
- Elemento Autoportante, estruturas com carácter mais atual de coberturas inclinadas, cujo revestimento inclui a estrutura, impermeabilização e isolamento térmico funcionando como um sistema que devido aos seus constituintes e forma é capaz de suportar o seu peso próprio e as solicitações fornecidas pela exposição ambiental [75] [76] [78].

As exigências construtivas para o funcionamento adequado da cobertura inclinada relacionam-se com [76]:

- Forma e volumetria
- Inclinação – dependente da exposição ao vento, tipo de telha e regime de pluviosidade.
- Reação ao fogo – garantir a segurança contra incêndios
- Ventilação – assegurar a qualidade do ar interior pela expulsão do vapor de água, e garantir a durabilidade dos materiais de construção da cobertura.

5.3.3.1. Revestimentos

As coberturas inclinadas são finalizadas por elementos descontínuos, encaixados ou fixados mecanicamente, protegendo toda a estrutura contra agentes externos como a radiação solar, o vento e a chuva. As faces destes elementos variam de dimensão, podendo ser telhas ou chapas, compostos pelos seguintes materiais [75] [76]:

- Telhas (fixação por encaixe)
 - Cerâmicas
 - Aglomerado de cimento (telhas de betão)
 - Ardósia
 - Betuminosas
 - Aço
- Chapas (fixação mecânica)
 - Fibrocimento
 - Metálicas

5.3.3.2. Desvão

O desvão de uma cobertura inclinada é representado pelo volume delimitado entre a cobertura e o teto do último andar de um edifício, sendo caracterizado quanto ao uso como habitável ou não habitável, e para este último ainda discriminado como acessível ou não acessível [75].

Esta distinção é essencial para a disposição do isolamento térmico, em projeto ou em reabilitação do edifício.

5.3.3.3. Localização do Isolamento Térmico

Existem várias opções para a localização do isolamento térmico em coberturas inclinadas, dependentes do tipo de utilização do desvão da cobertura e da constituição da última laje do edifício, ou seja, da laje de esteira [75] [79].

No caso de desvão habitável, o isolamento térmico é correntemente aplicado segundo as vertentes da cobertura, em posição superior ou inferior às mesmas. Esta última corresponde à solução mais vantajosa para a durabilidade do isolamento permitindo a proteção deste contra a penetração de água entre as placas do revestimento pela ação do vento [79]. Porém, esta solução não permite a proteção da estrutura resistente das variações térmicas incitadas pela radiação solar, e não existe aproveitamento da inércia térmica desta estrutura com benefício para a capacidade térmica da envolvente do edifício [75].

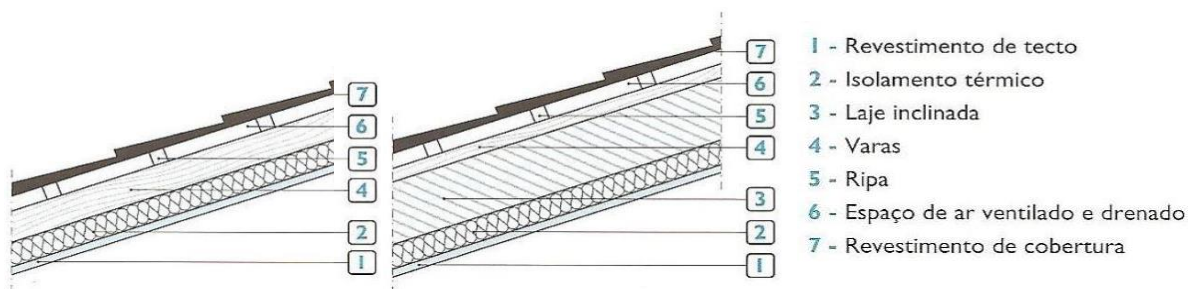


Fig. 5.13 - Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão habitável [79]

Em soluções de reabilitação ainda para desvão habitável, é preferível a colocação do isolamento térmico sob a vertente inclinada, evitando a remoção total do revestimento exterior quando não prevista [75].

Para desvão não habitável, a colocação do isolamento térmico segundo a laje de esteira é mais proficiente em relação com a opção descrita anteriormente, localização nas vertentes da cobertura, por permitir uma redução de área de aplicação de isolamento e os benefícios económicos daí resultantes. É possível assegurar uma boa ventilação do desvão não habitável, que permite durante a estação de arrefecimento facilitar a dissipação de calor [79].

Em termos de posicionamento em relação à laje de esteira, é preferível o assentamento do isolamento térmico na zona superior, garantindo benefícios no comportamento térmico da envolvente pelo aumento da inércia térmica. Contudo, apesar do desvão ser não habitável pode ser acessível, sendo necessário garantir a proteção do isolamento térmico com um revestimento de piso [79].

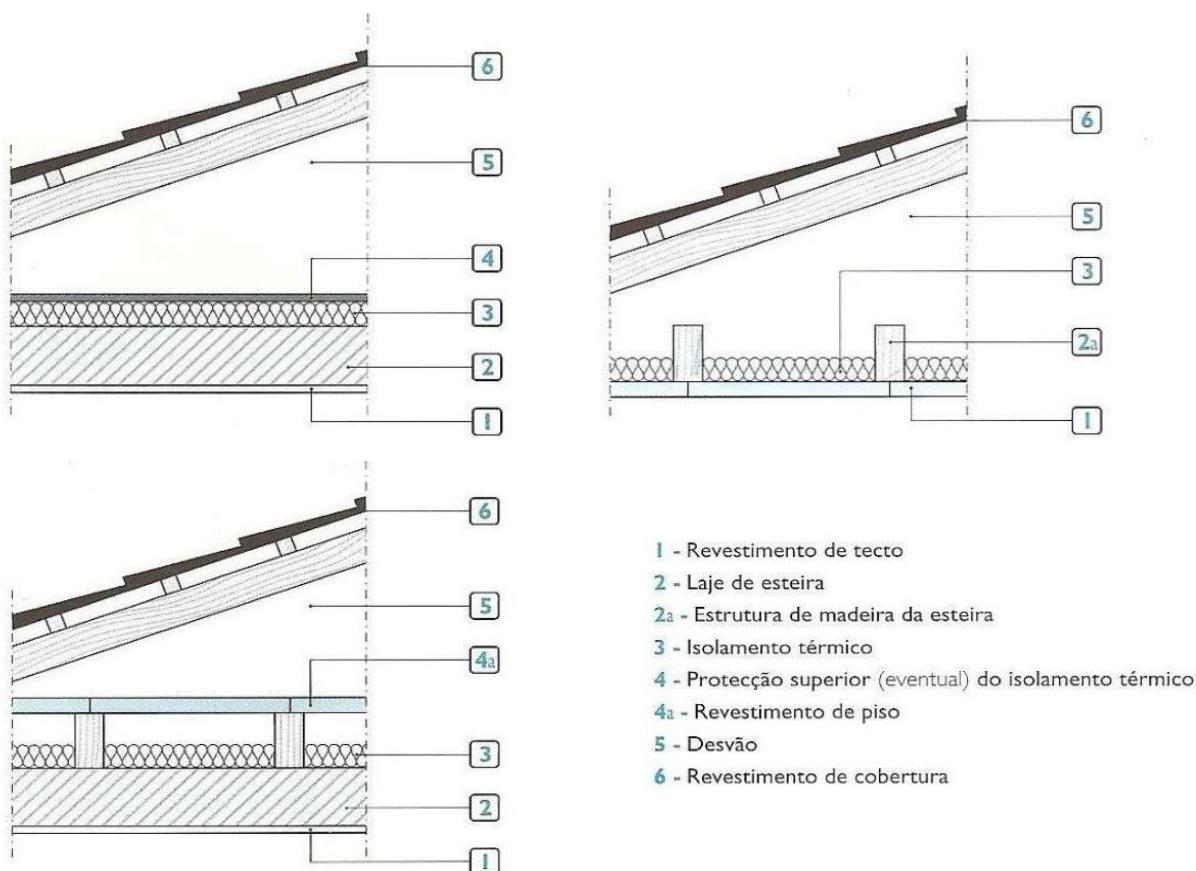


Fig. 5.14 - Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão não habitável [79]

5.3.4. COBERTURAS PLANAS

Quando os materiais da cobertura se encontram dispostos horizontalmente ou muito próximos desta posição, com uma inclinação média de 5%, designam-se como coberturas planas, em terraço ou horizontais [69] [72] [73]. A pendente mínima exigida às coberturas planas é de 1% para situações correntes, não existindo indicação concreta de valor máximo deste parâmetro em Portugal, podendo variar entre os 10 % (na Bélgica) ou até mesmo 17,5 % (na Inglaterra) [80].

Em relação às coberturas inclinadas descritas no ponto anterior, as coberturas planas permitem a utilização da cobertura para lazer ou ajardinados, contribuindo para a valorização do edifício [69].

5.3.4.1. Constituição dos Sistemas de Cobertura Plana

Um sistema de cobertura plana possui diversas camadas, com funções diferenciadas permitindo a satisfação de todo o sistema das exigências funcionais requeridas para este elemento [81].

As camadas essenciais que constituem a generalidade das coberturas em terraço, podem enumerar-se em:

- Estrutura resistente, ou laje de estrutura de cobertura, pode ser identificada por estruturas flexíveis ou rígidas, que permitem garantir a resistência às ações mecânicas sofridas pela cobertura [81] [82].
- Suporte da impermeabilização, usualmente a camada de regularização mas também poderá ser a camada de isolamento térmico [72].
- Impermeabilização, garante estanquidade à água da cobertura [72].
- Revestimento de proteção, contra ações mecânica e climatéricas de todo o sistema mas principalmente da camada de impermeabilização [72].

Ainda podem ser consideradas as seguintes camadas:

- Camada de regularização, permite regularizar a estrutura resistente e preparar esta última para receber as camadas seguintes (barreira para-vapor, isolamento térmico ou revestimento de impermeabilização por exemplo) [72].
- Camada de forma, define a pendente da cobertura necessária para o escoamento equilibrado de água. Esta camada ainda pode funcionar como isolamento térmico ao incorporar materiais complementares à argamassa [69], sendo necessário posicionar uma barreira para-vapor entre a camada de forma e a estrutura resistente [81].
- Barreira pára-vapor, aplicada sob o isolamento térmico quando este existe, impede que o vapor de água produzido no interior dos compartimentos atinja a camada de isolamento térmico, evitando assim a condensações [72] [81]
- Isolamento térmico, necessário para ajudar a satisfazer as exigências de conforto térmico dos edifícios, pode ser posicionado sobre a barreira pára-vapor e o sistema de impermeabilização na denominada cobertura tradicional, ou assumir uma posição oposta, acima do sistema de impermeabilização dispensando a barreira para-vapor, passando esta solução a ser chamada de cobertura invertida [72]. Será desenvolvido este ponto mais à frente.
- Camada de difusão de vapor de água, possui o mesmo objetivo da camada pára-vapor. É aplicada entre a impermeabilização e o seu suporte, e permite igualar a pressão de vapor entre as camadas usando mecanismos de ventilação [72] [81]
- Camada de dessolidarização, permite reduzir a interação entre o revestimento da cobertura e a camada de impermeabilização [72].

Podem ser implementadas outras camadas, no caso de coberturas jardim, tais como uma camada drenante, uma camada filtrante e terra vegetal [81] [72].

As coberturas planas podem ser classificadas dependendo dos seus atributos e particularidades em diversas classes, apresentadas no quadro 5.3:

Quadro 5.3 - Classificação de coberturas [72] [80].

Classe			Descrição
Acessibilidade	Não Acessível		Acesso limitado a trabalhos de manutenção ou reparação
	Acessível a Pessoas		Acesso limitado à circulação de pessoas
	Acessível a Veículos	Ligeiros	Acesso limitado à circulação de veículos ligeiros e pessoas
		Pesados	Permitida a circulação de veículos pesados e ligeiros e de pessoas
	Coberturas Especiais		Coberturas com jardins, equipamentos industriais ou de outro tipo
Tipo de Proteção	Sem Proteção		
	Com Proteção Leve		
	Com Proteção Pesada		Em camada rígida Em camada de material solto
Revestimento	Tradicional		
	Não Tradicional		
Localização do Isolamento Térmico	Isolamento Térmico Sobre a Estrutura Resistente	Isolamento Térmico Intermédio (tradicional)	Suporte de Impermeabilização Suporte de Camada de Forma
		Cobertura Invertida	Sobre a Impermeabilização
	Isolamento Térmico Sob a Estrutura Resistente		Em Tetos Falsos Aderente à Estrutura Resistente
Pendente	Classe I		Pendente origina estagnação de água e permite aplicação de proteção pesada
	Classe II		Pendente permite o escoamento de água e aplicação de proteção pesada
	Classe III		Pendente permite o escoamento fácil de água mas não aceita aplicação de proteção pesada
	Classe IV		Medidas especiais na aplicação das camadas na cobertura
Estrutura Resistente	Rígida		Contínua Descontínua
	Flexível		

5.3.4.2. Classificação quanto à acessibilidade

A cobertura não acessível tem como exigência a proteção do sistema de impermeabilização às condições climáticas a que o elemento se encontra exposto. Neste tipo de cobertura apenas têm acesso pessoas em realização de trabalhos de manutenção, e encontram-se preparadas com caminhos de circulação temporários para fazerem face a solicitações não previstas [72] [81].

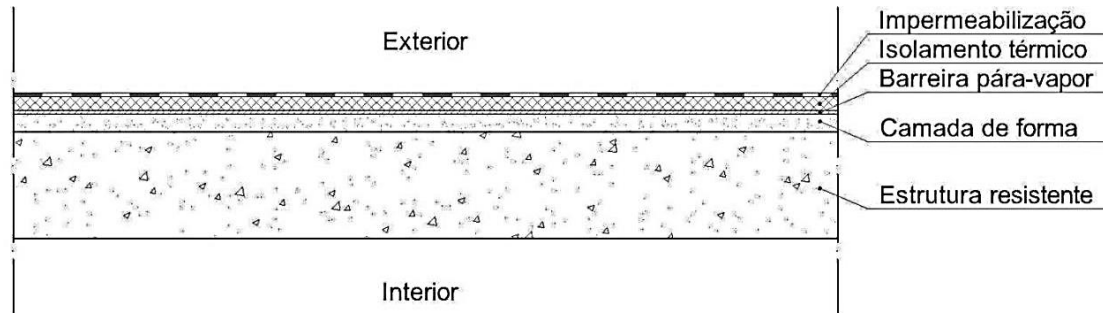


Fig. 5.15 - Esquema de cobertura não acessível [81]

A cobertura acessível a pessoas, em contraposição com a anteriormente descrita, possui uma capacidade de carga superior ao possuir um revestimento com uma camada de proteção pesada e uma camada de dessolidarização com o intuito de uniformizar as deformações mecânicas e garantir a proteção do sistema de impermeabilização.

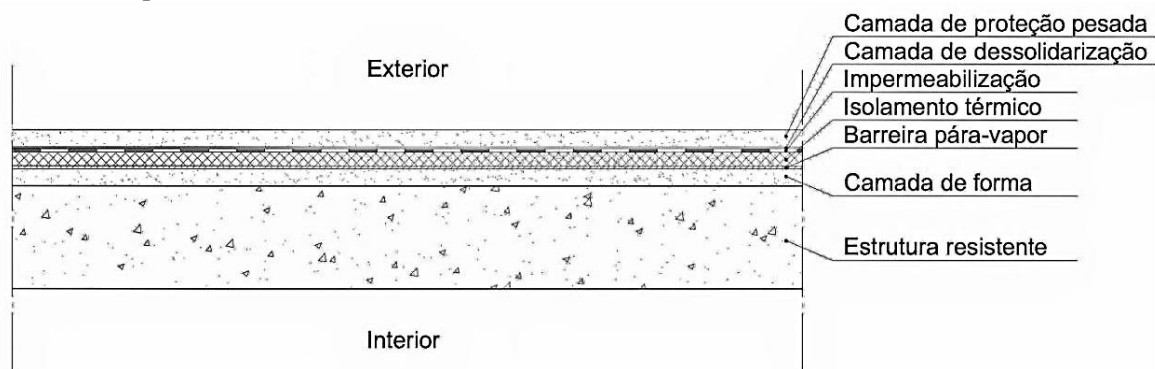


Fig. 5.16 - Esquema de cobertura acessível a pessoas [81]

Dentro das coberturas acessíveis ainda se distinguem pessoas de veículos, e dentro destas, veículos ligeiros e pesados, intensificando as solicitações mecânicas sofridas pela cobertura. A camada de proteção é selecionada considerando as novas condições. Caso seja aplicável uma camada de isolamento térmico, este terá de satisfazer requisitos mais exigentes em termos de comportamento mecânico [81] [72].

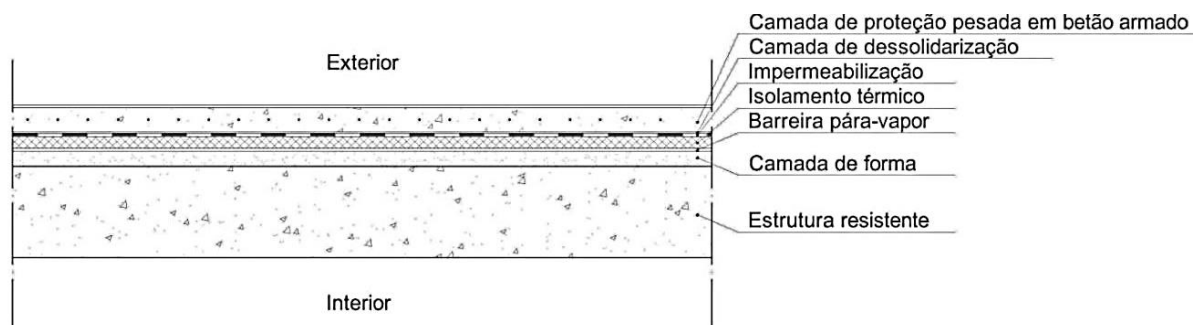


Fig. 5.17 - Esquema de cobertura acessível a veículos ligeiros ou pesados [81] [72]

Nas coberturas especiais estão inseridas as coberturas jardim e equipamentos industriais, que transmitem à cobertura solicitações muito intensas, tanto pela presença de cargas muito elevadas, como pela acumulação de humidades no caso das coberturas jardim, ou pelas vibrações provocadas pelos equipamentos industriais [81] [72].

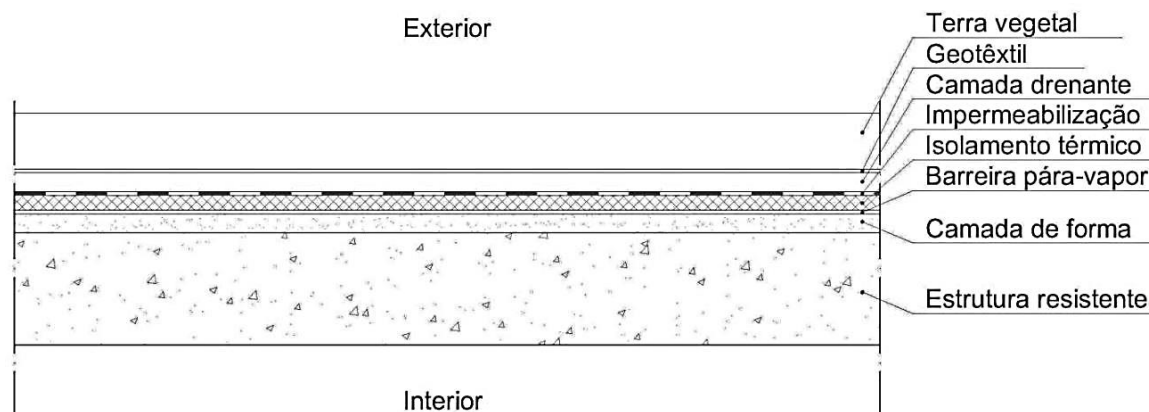


Fig. 5.18 - Esquema de cobertura jardim [81]

5.3.4.3. Classificação quanto à camada de proteção da impermeabilização

O tipo de proteção da impermeabilização, a camada superior da cobertura, pode ser utilizado para classificar as coberturas planas, nas classes: sem proteção, proteção leve aplicados em fábrica ou em obra, e ainda proteção pesada rígida ou com material solto.

As coberturas sem proteção são caracterizadas, tal como indica o nome, pela falta de proteção da camada de impermeabilização. O material impermeabilizante encontra-se aparente, e necessita de exigências de comportamento mais rigorosas pela sua exposição a ações mecânicas e climáticas [72] [83].

5.3.4.4. Classificação quanto ao tipo de revestimento de impermeabilização

Os revestimentos de impermeabilização, ou apenas impermeabilização, são distinguidos em duas classes, tradicionais ou não tradicionais. Ambos podem ser aplicados *in situ* ou pré fabricados.

Os revestimentos tradicionais são os mais utilizados na prática, e possuem um conhecimento generalizado das suas características, contrariamente aos não tradicionais que necessitam de ensaios e estudos complementares para garantir uma boa aplicação [72] [83].

5.3.4.5. Classificação quanto à localização da camada de isolamento térmico

Existem três grandes opções para a localização do isolamento térmico nas coberturas horizontais, na zona superior, intermédia ou inferior em relação às restantes camadas [72] [79] [84].

A escolha mais utilizada na construção nova localiza o isolamento em posição intermédia, sobre a camada de forma e funcionando como suporte da impermeabilização, ou entre a esteira horizontal e a camada de forma. Esta solução não é a mais corrente em reabilitação, sendo necessária a reconstituição de algumas camadas para colocação do isolamento térmico, tornando-a mais dispendiosa e suscetível a patologias [72] [79].

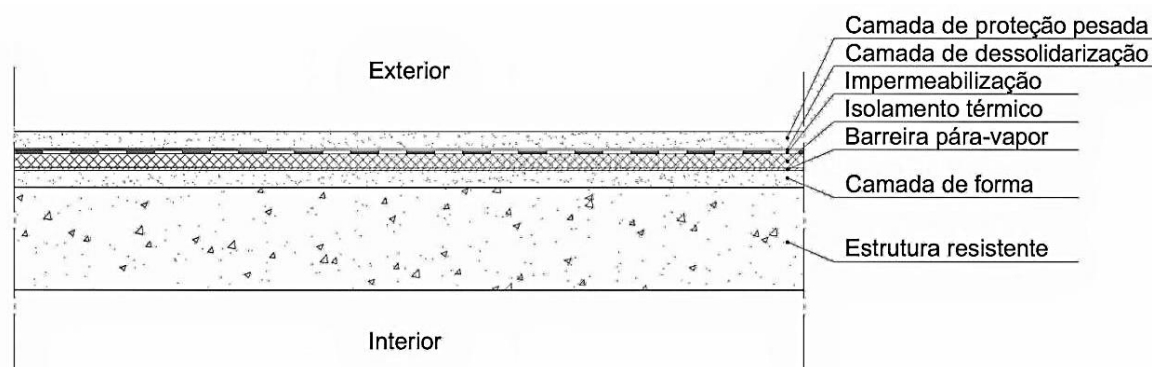


Fig. 5.19 - Esquema de cobertura com isolamento térmico intermédio, cobertura tradicional, acessível a pessoas [81]

A colocação do isolamento sobre todas as camadas da cobertura, denominada cobertura invertida, permite maior simplicidade durante a reabilitação energética deste elemento, e trás benefícios para a vida útil do mesmo ao proteger a impermeabilização de amplitudes térmicas e de radiações ultra - violeta da ação direta do sol [79] [84].

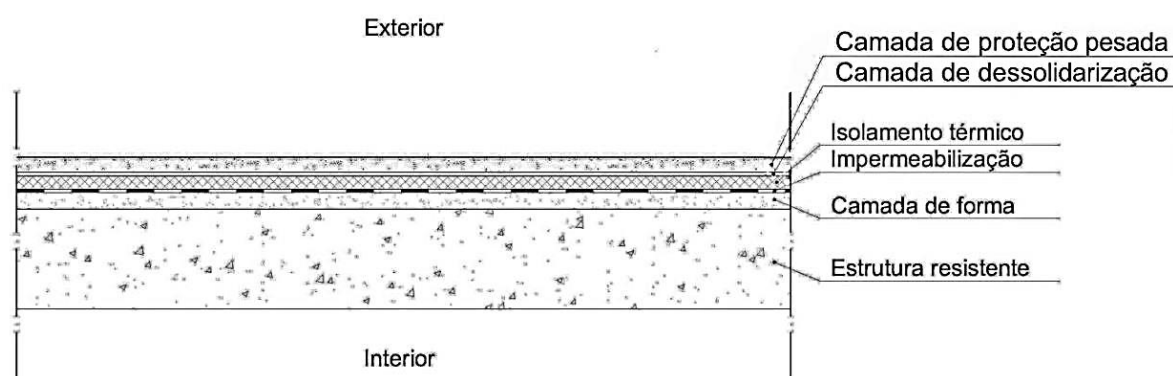


Fig. 5.20 - Esquema de cobertura invertida [81]

A última alternativa, que pode ser usada isoladamente ou em complemento das descritas anteriormente, posiciona o isolamento térmico na base da estrutura resistente da cobertura, aderente a esta ou em teto falso [72]. Esta é a solução menos adequada, por desfavorecer a inércia térmica da estrutura e não contribuir para a proteção de deformações de origem térmica do elemento [79].

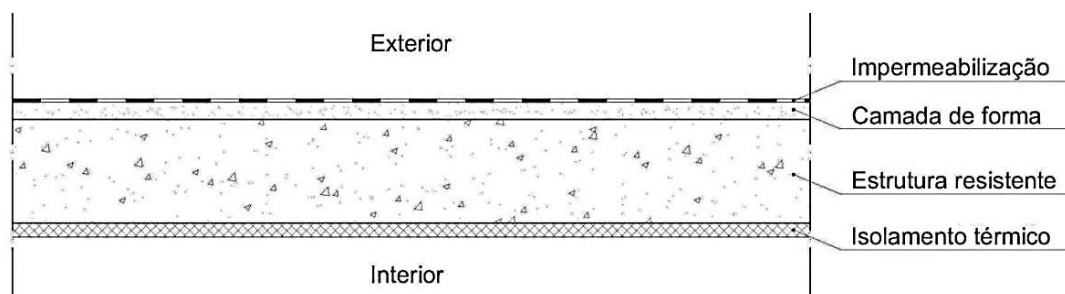


Fig. 5.21 - Esquema de cobertura com isolamento térmico aplicado sob a estrutura resistente [81]

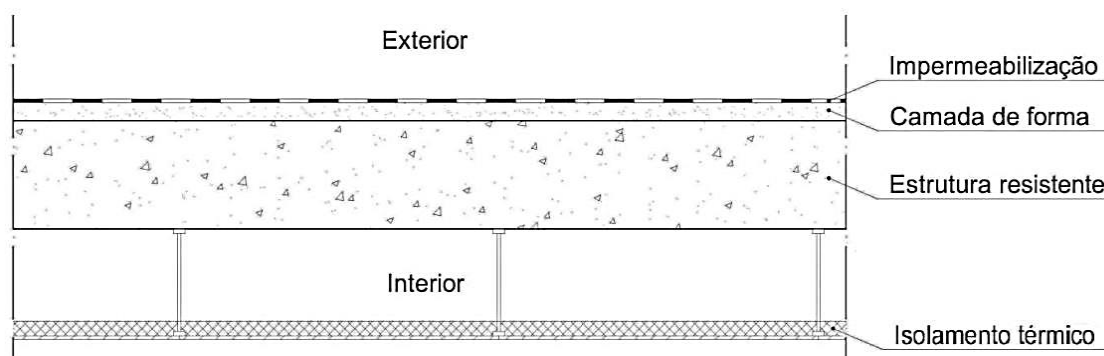


Fig. 5.22 - Esquema de cobertura com isolamento térmico sobre teto falso [81]

5.3.4.6. Classificação quanto à pendente

Tal como já foi mencionado, o limite mínimo recomendado para a pendente de coberturas planas é de 1%, desde que sejam garantidas as condições de escoamento de água necessárias ao bom funcionamento da mesma. A pendente máxima está intimamente ligada ao tipo de utilização destinado bem como com os materiais de revestimento. Numa cobertura acessível a pessoas a facilidade de circulação não pode ser comprometida, optando-se normalmente por valores de pendente próximas do mínimo. O mesmo acontece na presença de materiais de revestimento pesados soltos, ou de misturas betuminosas muito fluidas aplicadas na impermeabilização [72].

Existem quatro classes de classificação de coberturas quanto à pendente, desde a classe I para inclinações mais suaves evoluindo até a classe IV para inclinações mais severas.

5.3.4.7. Classificação quanto à estrutura resistente

Esta classificação está dependente da deformabilidade sofrida pela camada considerada, a estrutura resistente, limitando assim a acessibilidade da cobertura e a escolha e caracterização exigencial dos materiais principalmente da impermeabilização.

5.4. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

5.4.1. ENQUADRAMENTO

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, REH, definido no Decreto-Lei n.º 118/2013 [59], é o documento técnico em vigor em Portugal que visa a garantia do conforto térmico e a eficiência energética dos edifícios de habitação com minimização do risco de patologias sob a forma de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

O decreto-lei n.º 53/2014 [85] define operações de reabilitação como obras de conservação, alteração, reconstrução, alterações de utilização ou operações condicionadas por circunstâncias preexistentes que impossibilitem o cumprimento da legislação técnica aplicável. Este diploma é aplicável a edifícios afetos à habitação, localizados em áreas de reabilitação urbana ou cuja data de construção seja superior a 30 anos, e por sua vez, dispensa as operações de reabilitação de cumprimento dos requisitos de eficiência energética e qualidade térmica, protagonizados pelo REH, desde que estas apresentem incompatibilidades de ordem técnica, funcional ou de valor arquitetónico.

5.4.2. CLASSE ENERGÉTICA

A determinação da classe energética, nos termos e efeitos do Decreto-Lei n.º118/2013, é regido pelo despacho n.º15793-J/2013 [86].

5.4.3. FATORES QUE INFLUENCIAM O COMPORTAMENTO TÉRMICO

O comportamento térmico dos edifícios é avaliado segundo requisitos de qualidade térmica da envolvente opaca e do fator solar dos vãos envidraçados, expressos pelo coeficiente de transmissão térmica de todos os elementos. É requerida também uma adaptação do valor mínimo de cálculo de taxa de renovação do ar e a limitação das necessidades nominais de energia útil de aquecimento e arrefecimento do edifício, para o caso de intervenções em edifícios existentes.

Estes requisitos permitem uma melhoria do comportamento térmico geral do edifício, permitindo conforto ambiente, redução das necessidades energéticas, bem como a prevenção de patologias. [59]

O fluxo da transferência de calor determina dois tipos de zonas da envolvente opaca. A zona corrente é caracterizada por elementos planos homogêneos, com um fluxo unidirecional de transferência de calor, com direção perpendicular às superfícies do elemento e sentido das temperaturas decrescentes. As zonas heterogêneas são denominadas por pontes térmicas [87].

A transferência de calor entre dois ambientes separados por um elemento é quantificada pelo coeficiente de transmissão térmica (U), dado pelo inverso da soma das resistências térmicas superficiais interior, exterior, e das camadas que constituem o elemento [59].

5.4.3.1. Pontes Térmicas

As pontes térmicas são caracterizadas por zonas heterogêneas da envolvente dos edifícios, que apresentam valores de resistência térmica significativamente distintos dos apresentados pela zona corrente. O fluxo de calor nestas zonas não se desenvolve uniformemente numa direção, sendo denominada de ponte térmica plana o caso de uma condução bidimensional. As perdas de calor nestes pontos são quantificadas pelo coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear, ψ expresso em $W/m.^{\circ}C$ [87] [59]. Estes valores podem ser obtidos pela norma EN ISO 10211 ou através de valores tabelados no REH.

Relativamente a coberturas, a localização de pontes térmicas dá-se usualmente na ligação deste elemento com a fachada, e depende do posicionamento do isolamento térmico tanto na cobertura, como na fachada. Na reabilitação energética pretende-se a correção destes pontos, evitando assim a ocorrência de condensações superficiais, bolores, degradação de revestimentos entre outros.

5.4.3.2. Inércia Térmica

A inércia térmica interior de uma fração autónoma é função da capacidade de armazenamento de calor, ou seja, da capacidade de armazenamento e restituição de calor, que os locais apresentam, e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção [88].

A inércia térmica, I_t , de um edifício é classificada de acordo com o valor da massa superficial útil por superfície de área de pavimento, e vem expressa em quilogramas por metro quadrado (kg/m^2). As classes de inércia térmica interior descrevem-se como fraca, média ou forte [59].

A massa superficial útil de cada elemento é função do posicionamento do isolamento térmico, das características do revestimento superficial interior, e da localização do elemento no edifício. As coberturas são usualmente elementos da envolvente exterior em coberturas planas ou coberturas inclinadas com desvão não habitável, ou pode possuir elementos da envolvente interior quando se trata de uma cobertura inclinada com desvão habitável [59].

Para a contabilização da massa superficial útil nos casos de coberturas acima enquadrados, é considerada apenas a massa do elemento localizada entre o isolamento térmico e espaço interior. Como tal, no cálculo das exigências regulamentares dos requisitos energéticos pelo REH, e considerando o comportamento de inverno ou verão, é vantajoso classificar um edifício de habitação com inércia forte. Para a cobertura contribuir favoravelmente para este parâmetro, o posicionamento preferível para o isolamento é:

- Coberturas Inclinadas com desvão habitável – isolamento térmico sobre as vertentes inclinadas
- Coberturas Inclinadas com desvão não habitável – isolamento térmico sobre a laje de esteira
- Coberturas planas – Isolamento térmico sobre a estrutura resistente, solução de cobertura tradicional ou invertida.

5.4.3.3. Ventilação Natural e Higrometria

A humidade de um local interior ventilado resulta do equilíbrio entre a produção de vapor nesse local e o caudal de ventilação. A partir desta noção, é traduzido como higrometria, o aumento de pressão do vapor de água no interior em relação ao exterior, havendo uma classificação dos edifícios quanto a este parâmetro. A classificação dos edifícios em função da sua higrometria varia de fraca, média, forte ou muito forte, e da produção de vapor decorrente da sua utilização [89].

As exigências de conforto higrotérmico em edifícios de habitação estão intimamente relacionadas com a ventilação e o número de renovações horárias do ar.

A qualidade do ar no interior dos edifícios e o controlo de condensações é feita através da ventilação, preferencialmente natural. O processo de ventilação permite a remoção de poluentes e do excesso de humidade devida à utilização dos edifícios. Deste modo, é possível controlar as condensações superficiais geradoras de patologias nos edifícios, bem como garantir a segurança e saúde dos utilizadores [90]. A norma portuguesa 1037-1/2002 [91] define regras e quantificações de exigências de ventilação das habitações de modo a assegurar a qualidade e conforto do ar interior.

5.4.4. SELEÇÃO EXIGENCIAL DE ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Isolamentos térmicos são materiais ou produtos que apresentam valores de condutibilidade térmica inferiores a $0,065 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, ou seja, limitam a quantidade de calor que atravessa o material termicamente homogéneo. São produtos com marcação CE², e com o valor da condutibilidade térmica explícito no mesmo [92].

O mercado atual oferece uma grande variabilidade de materiais, tornando trabalhosa a seleção do mais adequado para as diferentes solicitações. A seleção exigencial de isolamentos térmicos é não prescritiva,

² A marcação CE é um símbolo de comercialização livre no Espaço Económico Europeu que, com a declaração do fabricante, indica o cumprimento dos requisitos das diretivas europeias aplicáveis. É obrigatória para alguns produtos comercializados deste 1985 [99].

consistindo na definição das características dos materiais e produtos, e da descrição do desempenho da solução às exigências e solicitações [93].

As características principais exigenciais, físicas e higrométricas, dos isolamentos térmicos podem ser sumariados em:

- Condutibilidade térmica
- Comportamento à água
- Permeabilidade ao vapor de água
- Comportamento face aos agentes atmosféricos e biológicos
- Comportamento face ao fogo
- Comportamento mecânico
- Estabilidade dimensional
- Impacto face ao homem e meio ambiente
- Conformidade com regulamentação técnica

Na reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais, com especial atenção para as coberturas, podem ser utilizados vários materiais de isolamento térmico, dependendo das suas características e aptidões. Os principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de coberturas podem ser [84]:

Quadro 5.4 - Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de coberturas, adaptado de [84]

Coberturas	Isolamento Térmico		Placas						Material a Granel				
	Localização	Solução	EPS	XPS	PUR	MW	ICB	MW	Grânulos				
									EPS	VA	LWA	MW	PUR
Planas	Exterior	Suporte Isolante de Impermeabilização	■		■	■	■						
		Cobertura Invertida	■ ⁴	■									
Inclinadas	Esteira Horizontal	Sobre a Esteira	■	■	■	■	■	■		■	■		
	Vertentes	Sobre a Estrutura Resistente	■	■	■	■	■	■					
		Sob a Estrutura Resistente	■	■	■	■	■	■					
¹ Mantas	² Espuma <i>in Situ</i>		³ Fibras			⁴ EPS de massa volúmica elevada							

Siglas dos
Isolantes Térmicos

EPS Poliestireno expandido moldado
XPS Espuma de poliestireno extrudido
PUR Espuma rígida de poliuretano
MW Lã mineral
ICB Aglomerado negro de cortiça
VA Vermiculite expandida (em grânulos)
LWA Argila expandida (em grânulos)

6

APLICAÇÃO DA ACV À REABILITAÇÃO DE COBERTURAS

6.1. ENQUADRAMENTO

Neste capítulo será feita a aplicação da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida à intervenção em edifícios existentes com vista à reabilitação de coberturas.

Tal como já fora abordado nos capítulos precedentes, o desenvolvimento sustentável e os seus fundamentos de concretização de equilíbrio social, económico e ambiental têm um papel essencial na indústria da construção. Esta é responsável por grandes emissões de gases com efeito de estufa, no esgotamento de recursos não renováveis, pelo consumo de energia e pela produção de resíduos, durante todo o seu ciclo de vida.

De modo a reduzir os impactos ambientais do setor, são atualmente implementadas análises baseadas na abordagem do ciclo de vida, que integram questões relacionadas com as alterações climáticas e o esgotamento de recursos naturais durante a fase de projeto de construções novas, com base numa lógica de *Cradle-to-Grave*. No entanto, as intervenções em edifícios existentes ou reabilitações focam-se essencialmente nas melhorias estruturais e energéticas, negligenciando a valorização ambiental [50]. Importa salientar a grande apreciação do património construído, pela sua herança cultural, histórica e arquitetónica na Europa mediterrânea, onde a reabilitação tem uma importância inerente [51].

Considerando os pontos supracitados, procede-se à análise de várias soluções construtivas de coberturas correntemente adotadas em Portugal que carecem de intervenções de reabilitação energética, tendo em vista o cumprimento das disposições regulamentares em vigor bem como a extensão da vida útil das mesmas, considerando igualmente o desempenho ambiental das soluções.

Tal como já fora analisado no capítulo 5, o parque edificado português é constituído essencialmente por edifícios destinados à habitação, com coberturas inclinadas revestidas a telha cerâmica ou betão, sendo a primeira a solução construtiva adotada mais frequentemente no edificado com necessidade de reparação. Porém, é igualmente importante o estudo de coberturas planas pela sua vulgarização no edificado com idade de construção mais recente e em edifícios com maior número de pisos. Sendo assim, tratar-se-á da análise do ciclo de vida de várias soluções de reabilitação de coberturas inclinadas e coberturas planas, descritas oportunamente.

Os procedimentos para a análise generalista são selecionados considerando que todas as soluções alternativas garantem o mesmo desempenho estrutural e energético, respeitando os mínimos exigidos regulamentarmente.

É ainda imprescindível a aplicação da metodologia de ACV a um caso de estudo, de modo a identificar as fragilidades, limitações e simplificações adotadas na análise de soluções construtivas independentes de um edifício.

6.2. METODOLOGIA DE ACV NA ANÁLISE GERAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

6.2.1. NOÇÕES INICIAIS

A metodologia proposta utiliza a Avaliação do Ciclo de Vida como uma ferramenta de avaliação ambiental. São definidos inicialmente quais os elementos construtivos alvo de intervenção e os materiais que estes utilizam, e determinado um conjunto de requisitos estruturais e funcionais do sistema que estarão na base da definição de constrangimentos e limitações, e na definição de parâmetros de projeto mínimos. Por fim, é realizada a ACV com vista à minimização dos impactes ambientais na seleção de materiais de construção empregues no processo de reconversão dos sistemas em estudo.

Serão respeitados os procedimentos dispostos na ISO 14040 [38] e ISO 14044 [37], com a definição do objetivo e âmbito, inventário, avaliação do impacto e interpretação do ciclo de vida.

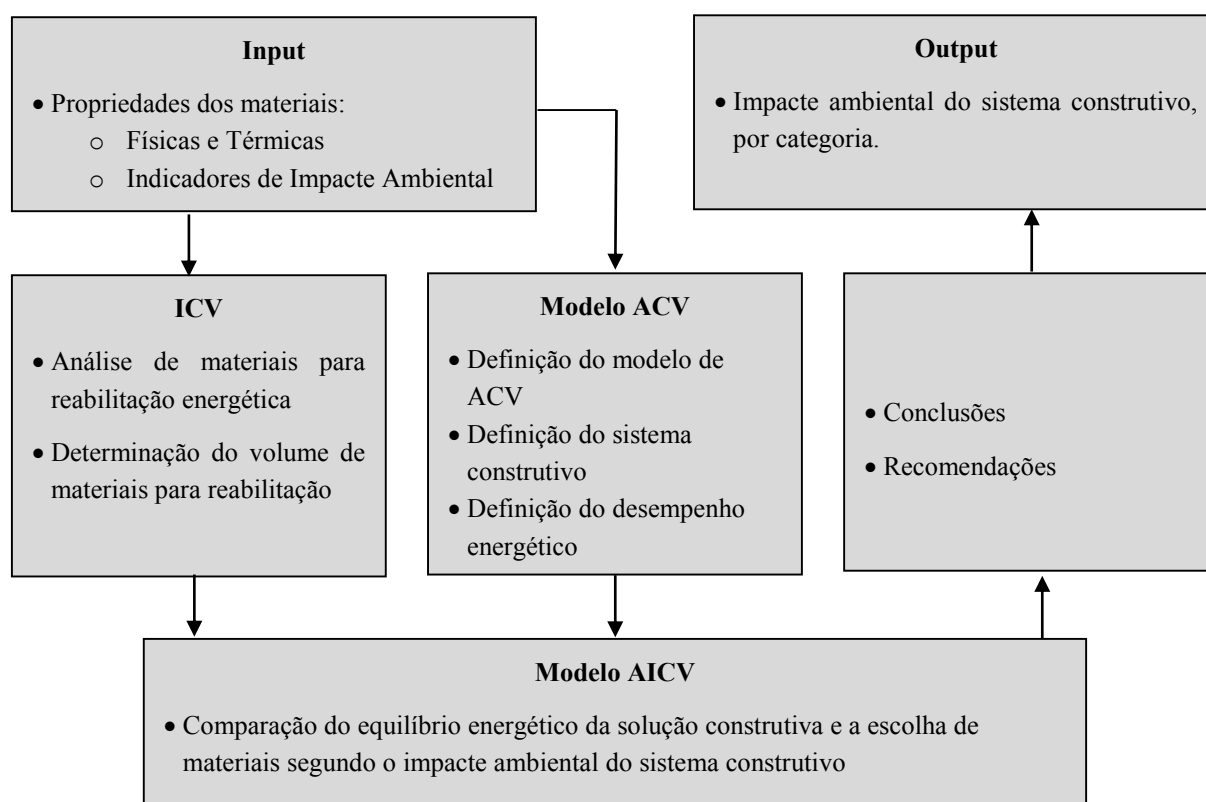


Fig. 6.1 - Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para reabilitação de soluções construtivas, adaptado de [92] [51].

6.2.2. MODELO DE ACV E DEFINIÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

6.2.2.1. Considerações

A análise de ciclo de vida de soluções de reabilitação energética de coberturas, na abordagem genérica aqui adotada realizada numa perspetiva *Cradle-to-Gate*, é baseada na metodologia proposta nos fundamentos e bases de dados divulgados por Mateus [19] [18], focando-se nos materiais de isolamento térmico bem como em materiais de substituição ou incorporados para o bom funcionamento energético e funcional das soluções.

Esta análise limita-se à perceção da afetação de cada solução construtiva para as diferentes categorias de impacte ambiental, de acordo com a seleção de materiais de isolamento e técnicas construtivas correntemente utilizadas, tanto para soluções de coberturas inclinadas como para coberturas planas, balizando-se nas soluções construtivas correntes e no estado de conservação do parque edificado português.

Relativamente aos materiais, de acordo com a função de cada camada constituintes das coberturas, foram considerados os constantes no quadro 6.1:

Quadro 6.1 - Atribuição de materiais por função das camadas constituintes

	Camada	Material
Cobertura Inclinada	Revestimento de Cobertura	Telha Cerâmica
	Suporte do Revestimento	Madeira Serrada Densa
	Isolamento Térmico	Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)
		Poliestireno Expandido Moldado (EPS)
		Poliuretano Expandido Rígido (PUR)
		Lã Mineral (MW)
		Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)
	Membrana Pára-Vapor	Membrana PVC flexível
	Impermeabilização	
	Laje	Betão Armado
	Revestimento Interior	Argamassa de Reboco
	Revestimento de Piso sobre Estrutura Resistente (para Desvão Habitável)	Painéis OSB
Cobertura Plana	Revestimento de Cobertura	Brita
		Terra Vegetal
	Filtro Separador	Polipropileno
	Manta Drenante	Gravilha (Brita)
	Isolamento Térmico	Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)
		Poliestireno Expandido Moldado (EPS)
		Poliuretano Expandido Rígido (PUR)
		Lã Mineral (MW)
		Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)
	Membrana Pára-Vapor	Membrana PVC flexível
	Impermeabilização	
	Laje	Betão Armado
	Revestimento Interior	Argamassa de Reboco

Os pormenores construtivos estudados podem ser consultados detalhadamente no anexo A1.

6.2.2.2. Descrição dos Sistemas Construtivos para Coberturas Inclinadas

As soluções construtivas de coberturas inclinadas em estudo distinguem-se pela sua classificação quanto à localização relativa do isolamento térmico em relação à estrutura resistente, bem como no tipo de utilização do desvão da cobertura. Resultam quatro tipos soluções:

Quadro 6.2 - Soluções estudadas de reabilitação energética de coberturas inclinadas

		Localização do isolamento térmico em relação à estrutura resistente	
		Sob	Sobre
Tipo de utilização do desvão de cobertura	Habitável	CI 1	CI 2
	Não-Habitável	CI 4	CI 3

Nota: os pormenores construtivos à escala 1:10 encontram-se no anexo A1.

A intervenção na cobertura de desvão habitável com isolamento térmico sob estrutura resistente (CI 1) pressupõe a colocação de isolamento térmico pelo interior, ao longo da laje de suporte do revestimento, e o emprego de uma camada pára-vapor evitando condensações no isolamento térmico pela produção de vapor resultantes da utilização do desvão. Para tal, os estratos a serem intervencionados nesta solução serão o isolamento térmico, a camada para-vapor e o revestimento interior.

Quanto à solução de desvão habitável com isolamento sobre a estrutura resistente (CI 2), a colocação do isolamento térmico é realizada pelo exterior, sendo necessária a remoção do revestimento exterior em telha cerâmica. É habitual o reaproveitamento deste material em intervenções de reabilitação, por ser um material com elevada durabilidade e com continuidade de boas características funcionais ao longo do tempo. No entanto, a percentagem de aproveitamento deste material é de difícil definição, estando dependente do estado de conservação do edificado, da qualidade técnica dos operários envolvidos na sua manipulação, no tipo de fixação utilizado, entre muitos outros fatores. Na impossibilidade de quantificar rigorosamente o aproveitamento de telhas cerâmicas de uma maneira generalista, é então interessante estudar os impactes ambientais da solução construtiva fazendo variar também várias percentagens de substituição do revestimento exterior. Sendo assim, os estratos a serem considerados na análise de impacte ambiental desta solução construtiva são o revestimento exterior, o suporte de revestimento e o isolamento térmico.

Quadro 6.3 – Soluções estudadas de substituição de telhas cerâmicas, para a simulação CI 2.

Desvão Habitável com Isolamento Sobre a Estrutura Resistente		Substituição de Telhas Cerâmicas:			
CI 2		2A – 0%	2B – 25%	2C – 50%	2D – 100%

As soluções de reabilitação energética de coberturas com desvão não-habitável pressupõem a colocação de isolamento térmico ao longo da laje de esteira, permitindo essencialmente a redução de área de intervenção e a diminuição de área útil de aquecimento. Para tal, considerou-se que, apesar do desvão ser não habitável, seria acessível, sendo indispensável a consideração de um revestimento de piso na laje de esteira.

Relativamente à solução para o desvão não habitável com isolamento térmico sobre a laje de esteira (CI 3) é requerida a aplicação do isolamento entre a estrutura resistente e o revestimento de piso, sendo este último responsável pela proteção mecânica do isolamento a ser aplicado. Sendo assim, os materiais considerados na análise dos indicadores de impacto ambiental pertencem ao revestimento de piso, isolamento térmico e barreira pára-vapor.

Segundo estas considerações, em relação à cobertura com desvão não habitável com isolamento térmico sob a laje de esteira (CI 4) foram apenas consideradas a colocação de uma camada de isolamento térmico pelo interior dotada de uma barreira pára-vapor, e aplicação do revestimento interior.

6.2.2.3. Descrição dos Sistemas Construtivos para Coberturas Planas

As soluções construtivas de coberturas planas em estudo dependem do tipo de revestimento exterior, nomeadamente revestimento com material solto, ou terra vegetal. Dentro destas opções, ainda são particularizadas hipóteses de disposição do isolamento térmico relativamente à estrutura resistente. Apresenta-se na tabela seguinte as soluções estudadas:

Quadro 6.4 - Soluções estudadas de reabilitação energética de coberturas planas

Tipo de Revestimento	Localização do isolamento térmico em relação à estrutura resistente			
	Sobre		Sob	
	Solto	Tradicional	P1	P3
		Invertida	P2	
	Jardim		P4	P5

Nota: os pormenores construtivos à escala 1:10 encontram-se no anexo A1.

A análise de coberturas planas com revestimento exterior solto ou cerâmico fora dividida em cobertura tradicional e invertida que, tal como já fora explicitado no capítulo 5, distinguem-se pela posição relativa do isolamento térmico em relação à impermeabilização. Esta última camada poderá possuir dupla função, funcionando como pára-vapor quando disposta sob o isolamento térmico. Posto isto, a distinção entre a solução de cobertura tradicional (P1) e cobertura invertida (P2) em termos de materiais utilizados relaciona-se com a possível existência de uma barreira pára-vapor na primeira solução. Os pormenores construtivos presentes no anexo A1 elucidam a disposição dos diferentes materiais.

Especificando a intervenção proposta para a cobertura tradicional com isolamento térmico pelo exterior (P1), é considerada a remoção do revestimento exterior em material solto para posterior recolocação, sendo considerada uma quantidade mínima de material necessário para substituição em caso de perdas operacionais de 5% para esta camada. Mais opções percentuais foram ponderadas inicialmente, tendo-se verificado que estas pouco influenciariam os resultados finais optando-se pela consideração de apenas uma hipótese.

Nesta solução construtiva, os materiais da camada de dessolidarização, impermeabilização, isolamento térmico e barreira pára-vapor serão adicionados ou substituídos por novos.

A cobertura invertida com isolamento térmico pelo exterior (P2) apresenta o mesmo princípio que a solução P1, isentando-se das operações de intervenção a barreira pára-vapor uma vez que a impermeabilização será suficiente para essa função.

Em termos de disposição de isolamento térmico pelo interior nas coberturas planas com revestimento de material solto (P3), a estrutura resistente é dotada na sua base por uma camada de isolamento térmico e barreira pára-vapor, com finalização do revestimento interior adequado.

Nas coberturas jardim, o estrato de terra vegetal que constitui o revestimento exterior é reutilizável para a nova solução reabilitada, sendo a quantificação de material necessário de substituição devido a perdas ou falta de qualidade do existente pouco previsível. Como tal, e sendo este um material menos suscetível a perda de funcionalidade em relação a materiais de construção correntes, considera-se uma percentagem de substituição de 5%. O mesmo princípio e percentagem se aplicam para a manta drenante. Considera-se que esta é constituída por materiais rochosos britados como simplificação.

A colocação de isolamento térmico sobre a estrutura resistente na cobertura jardim (P4) implica a manuseamento de isolamento térmico, feltro separador (geotêxtil), manta drenante e terra vegetal. Importante salientar o reaproveitamento da manta drenante e de terra vegetal na nova solução.

Por fim, a solução referente à cobertura jardim com isolamento térmico pelo interior (P5) considera a colocação de isolamento térmico sob a estrutura resistente, com aplicação de camada pára-vapor e acabamento com revestimento interior.

6.2.3. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

6.2.3.1. Objetivo

Pretende-se a realização de uma avaliação comparativa de impactes ambientais entre soluções genéricas de reabilitação energética de coberturas, planas e inclinadas, que ofereçam o mesmo desempenho energético. Serão estudadas também várias seleções de materiais de isolamento térmico, e breve referência a materiais de revestimento exterior. Esta avaliação será realizada apenas numa perspetiva *Cradle-to-Gate*, a fim de reduzir a imprevisibilidade de uma análise generalista das etapas subsequentes da ACV, nomeadamente transporte, cenários de manutenção, qualidade de utilização dos utentes, clima, dados inerentes às necessidades energéticas, sendo fatores muito variáveis de edifício para edifício.

6.2.3.2. Unidade Funcional

A definição do desempenho quantificado do sistema de produto para utilização como referência de modo a assegurar a compatibilidade entre soluções é determinada sobre a forma de unidade funcional. Como tal, na aplicação deste estudo, temos como unidade funcional:

- **Solução Construtiva: 1 m²**
- Materiais de construção: kg/m²
- Coeficiente de Transmissão Térmica da Solução: 0,30 W/(m².°C)
- Vida Útil de Referência: 50 anos^[SS1]

6.2.3.3. Fronteira do Sistema

Os edifícios são constituídos por materiais de construção e elementos, podendo ir desde a unidade do material de construção, passando pelo elemento construtivo constituído por vários materiais de construção, até ao edifício que é composto por vários elementos, e assim sucessivamente até à formação de cidades, regiões ou ecossistemas [18]. Como tal, é necessária a imposição de uma fronteira física

limitando a análise. Neste caso, a fronteira localiza-se no elemento construtivo cobertura, constituída por vários materiais de construção.

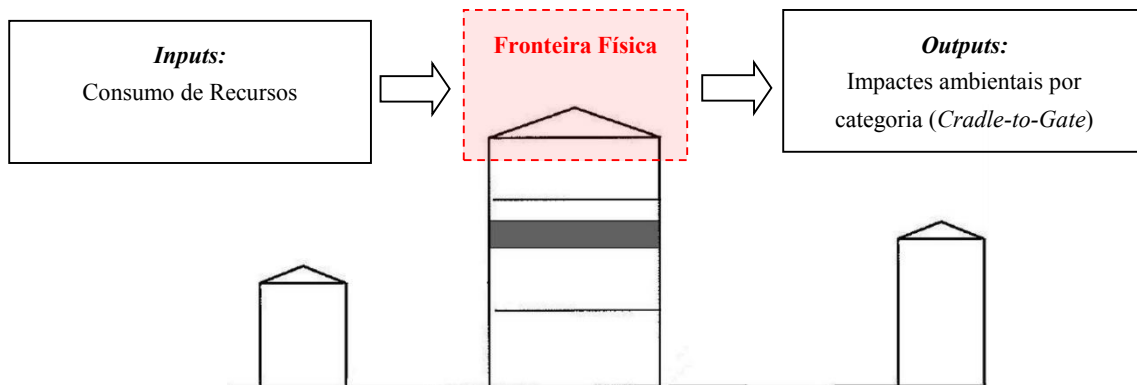


Fig. 6.2 - Fronteira da escala física da avaliação, adaptado de [19] [95]

Por sua vez, existe uma fronteira temporal relacionada com o ciclo de vida do edifício novo ou reabilitado. Na reabilitação, que é o que trata o presente estudo, o tempo inicia-se na exploração das matéria-primas que darão origem aos materiais empregues na intervenção, passa pela construção em si, trata ainda o período de utilização do edifício e termina no final de vida útil do mesmo [18]. Tal como analisado na seção 3.2.4 referente à durabilidade, é possível constatar que, no caso de habitação, as coberturas planas supõem um vida útil de estudo média de 26 anos, enquanto que as coberturas inclinadas possuem uma vida útil superior de 43 anos.

No entanto, para ser possível a comparabilidade e aplicabilidade da base de dados para a quantificação das categorias de impacto ambiental associada aos materiais de construção proposta por Mateus [19] [18], é necessário considerar os mesmos pressupostos utilizados na obtenção desses valores. Logo, a fronteira do período de tempo da avaliação será de 50 anos para a duração do sistema construtivo.

As intervenções propostas não afetarão a capacidade resistente tanto das coberturas como da restante estrutura uma vez que se pretende apenas a reabilitação energética, dotando os sistemas construtivos com materiais isolantes e não alterando a estrutura inicial. Em relação às restantes camadas, considerada-se por defeito que estas se encontram em bom estado de conservação sem necessidade de intervenção, e apenas serão consideradas nos cálculos quando é imprescindível a sua manipulação para o cumprimento do objetivo principal (colocação do isolamento térmico na posição desejada).

Para cada solução estudada, as espessuras de materiais de isolamento térmico serão definidas de acordo com o valor de referência requerido para o cumprimento das disposições regulamentares do âmbito da térmica para edifícios de habitação, segundo o Decreto-Lei n.º 118/2013 [94]. Para tal, e como esta será uma análise generalista, será considerado como coeficiente de transmissão térmica superficial (U) de referência de elementos opacos horizontais o valor médio de $U = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, sendo que as simulações consideram soluções de elementos opacos correntes horizontais, ou seja, coberturas. Uma vez que é pretendida a comparação entre soluções construtivas com o mesmo desempenho energético, o valor de U será constante para todas as simulações.

Quadro 6.5 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência para elementos opacos, U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$], adaptado de [77]

U_{ref} [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]		Zona Climática					
		Portugal Continental					
Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,40	0,35	0,30
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,35	0,30	0,25
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis	Elementos opacos verticais	1,00	0,80	0,70	0,80	0,70	0,60
com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos horizontais	0,80	0,70	0,60	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Com este parâmetro é definida a espessura da camada de isolamento térmico, sabendo as características dos materiais que constituem cada sistema, nomeadamente a condutibilidade térmica que representa a quantidade de calor que atravessa uma espessura unitária de um material quando se estabelece uma diferença unitária de temperatura entre duas faces planas [92].

O valor do coeficiente de transmissão térmica superficial é obtido por [95]:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

U – Coeficiente de Transmissão Térmica [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]

R_{si} – Resistência Térmica Interior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{se} – Resistência Térmica Exterior [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_j – Resistência Térmica da Camada j [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

A metodologia para a análise geral de soluções de reabilitação energética de coberturas foca-se numa análise *Crade-to-Gate*, desde a exploração das matérias-primas passando pelo transporte até ao local de processamento, e o seu processamento. Esta é uma análise de ciclo de vida de um elemento construtivo baseada na aplicação de resultados publicados referentes à quantificação das categorias de impacto ambiental de materiais de construção por Mateus [18] e por Bragança [2]. Como tal, serão utilizados sempre que possível os mesmos pressupostos que os autores.

6.2.3.4. Categorias de Impacte Ambiental

As categorias de impacto ambiental utilizadas neste estudo para a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) das soluções construtivas são as mesmas que foram consideradas por Mateus [18] e Bragança [2], e encontram-se descritas no quadro seguinte.

Quadro 6.6 - Categorias de impacto ambiental utilizadas neste estudo, adaptado de [18].

Categorias de Impacte Ambiental		Descrição	Unidade
ADP	Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	Avaliação da preservação dos ecossistemas e exploração de recursos naturais existentes na terra, mar ou atmosfera, incluindo combustíveis fósseis. Exprime-se em quilogramas de antimónio (Sb) equivalentes por quilograma (kg) de recurso extraído.	kg Sb eq
GWP	Potencial de Contribuição Aquecimento Global	Análise da emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera para um horizonte de tempo de 100 anos (GWP100), e incorpora a escala temporal para remoção da substância da atmosfera. Exprime-se em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono (CO ₂) por quilograma (kg) de emissão libertada para a atmosfera	kg CO ₂ eq
ODP	Potencial de destruição da camada de ozono	Avalia a quantidade de radiação de UV-V que atinge a superfície terrestre e destrói a camada de ozono estratosférico, com impactes vários incluindo a afetação da durabilidade e desempenho dos materiais de construção. Expressa-se em quilogramas equivalentes de triclourofluormetano (CFC-11) por quilograma de emissão numa escala de tempo infinita.	kg CFC-11 eq
AP	Potencial de acidificação	Avalia a quantidade de emissões de amónia (NH ₃), dióxido de enxofre (SO ₂), e óxido de azoto (NO _x) que se convertem em compostos acidificantes, formando partículas ácidas ou chuvas ácidas. Expressa-se em quilogramas equivalentes de SO ₂ por cada quilograma de emissões para a atmosfera.	kg SO ₂ eq
POCP	Potencial de formação de ozono troposférico	Avalia a oxidação fotoquímica, resultante da ação da radiação ultravioleta sobre óxidos de azoto (NO _x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV's). Expressa-se em quilogramas equivalentes de etileno (C ₂ H ₄) por quilograma de emissão.	kg C ₂ H ₄ eq
EP	Potencial de eutrofização	Associado às emissões de azoto (N) e fósforo (P), resultando em fertilização excessiva de ecossistemas. Expressa-se em quilogramas equivalentes de fosfato (PO ₄) por quilograma de emissão.	kg PO ₄ eq
ENR	Energia não-renovável incorporada	Avaliação do contributo do ciclo de vida do produto para o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis, através da análise do consumo de energia não renovável, fóssil e nuclear. Expressa-se em equivalentes de megajoules (MJ).	MJ eq
ER	Energia renovável incorporada	Avalia a utilização de energia renovável em detrimento de fontes não renováveis associado às fases do ciclo de vida do produto, sendo um indicador com impacte ambiental positivo. Expressa-se em equivalentes de megajoules (MJ).	MJ eq

6.2.4. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

6.2.4.1. Estratégia de Recolha de Dados e *Input* de Dados

O inventário das soluções construtivas quantifica os dados de entrada de características físicas e térmicas, bem como as emissões associadas aos materiais de construção utilizados. Não havendo bases

de dados para a generalidade de materiais de construção específicos para Portugal, recorre-se a duas fontes principais:

- **Dados de emissões:** Mateus [18] e Bragança [2], que utilizam como base de dados de ICV:
 - Documentos técnicos homologados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
 - Regras de Categoria de Produtos
 - Bases de Dados e Software:
 - Ecoivent
 - Cumulative Energy Demand
 - CML 2 baseline 2000
 - SimaPro
- **Dados sobre características de materiais:** Publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil intitulado “*Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios : versão actualizada 2006*” [92], de Pina dos Santos.

6.2.4.2. Input de Dados de Materiais

As características térmicas e físicas dos materiais utilizados para a análise de indicadores de categorias de impacto ambiental de soluções de reabilitação de coberturas sumariam-se no quadro seguinte:

Quadro 6.7 - ICV de materiais de construção, baseado em [92]

	Condutibilidade Térmica (λ)	Massa Volúmica Aparente Seca (ρ)	Espessura	Unidade Funcional
	[W/(m°C)]	[kg/m³]	[m]	[kg/m²]
Telha Cerâmica	0,5	1400	0,04	56
Brita	2	2200	0,1	220
Terra Vegetal	0,77	1700	0,2	340
Madeira Serrada Densa ^a	0,23	800	0,007	5,3
Painéis de OBS	0,13	650	0,03	19,5
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	0,037	40	Variável	Variável
Poliestireno Expandido Moldado (EPS)	0,04	20	Variável	Variável
Poliuretano Expandido Rígido (PUR)	0,04	50	Variável	Variável
Lã Mineral (MW)	0,04	100	Variável	Variável
Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)	0,045	140	Variável	Variável
Membrana PVC flexível	0,14	1200	0,002	2,4
Polipropileno	0,22	910	0,002	1,82
Betão Armado	2	2500	0,2	500
Betão Celular Autoclavado	0,16	450	0,1	45
Argamassa de Reboco	1,3	2000	0,02	40

^a Presente no suporte do revestimento (ripas e varas) de forma não contínua, considerando-se a existência de três seções de 4 x 2 x 2 cm por metro quadrado de solução construtiva.

6.2.5. AVALIAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA

6.2.5.1. Princípio adotado para a Quantificação dos Impactes de Ciclo de Vida

Uma vez que é pretendida a avaliação de soluções gerais de reabilitação energética de coberturas, a metodologia apresentada na seção 3.3.6 é limitada à quantificação dos valores referentes às categorias de impacto ambiental. Para tal, e após a definição do ICV dos materiais e descrição das soluções construtivas em estudo, tratam-se os dados de modo a atingir resultados referentes à seleção de materiais de isolamento térmico para cada solução construtiva.

Com a definição dos materiais considerados em cada solução, das suas características físicas e térmicas e caracterização destes na unidade funcional em estudo, transformam-se os valores dos indicadores de impacto ambiental para a mesma unidade, fazendo a multiplicação do indicador pela unidade funcional.

A última etapa aglomera os valores de indicadores de impacto ambiental para cada solução, de acordo com os materiais das camadas ou estratos alvo de intervenção.

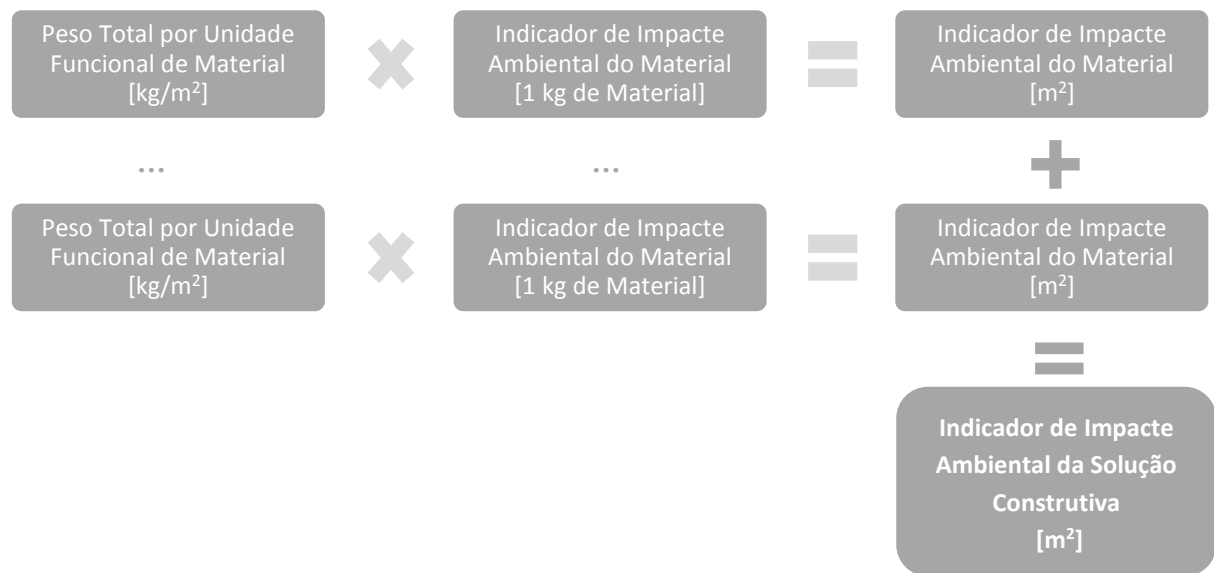


Fig. 6.3 - Cálculo do indicador de impacto ambiental da solução construtiva

O peso total por unidade funcional de material depende da massa volúmica e da espessura a aplicar de material. No caso do isolamento térmico, a espessura necessária é imposta pelo cumprimento do coeficiente de transmissão imposto, variando assim o peso total por unidade funcional de solução para solução.

6.2.5.2. Indicadores Ambientais

Os dados dos parâmetros das categorias de impacto ambiental correspondentes à produção e 1 kg de material de construção expressos na perspetiva *Cradle-to-Gate*, segundo a base de dados presente no anexo A2, sumariam-se no Quadro 6.7:

Quadro 6.8 - Indicadores de impactes ambientais por categoria associados à produção de 1 kg de material, adaptado de [2] [18].

Material	Categorias de Impacte Ambiental da ACV (KG)						Energia Incorporada (Mj)	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(kg Sb eq)	(kg CO2 eq)	(kg CFC-11 eq)	(kg SO2 eq)	(kg C2H4 eq)	(kg PO4 eq)	(MJ eq)	(MJ eq)
Telha Cerâmica	6,58E-03	8,16E-01	8,41E-08	2,90E-03	1,55E-04	2,85E-04	1,46E+01	7,41E-01
Brita	2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
Terra Vegetal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Madeira Densa	1,02E-03	-1,20E+00	1,28E-08	8,05E-04	7,29E-05	1,29E-04	1,98E+00	1,58E+01
Painéis OBS	2,48E-03	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01
XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
Betão Armado	6,08E-04	1,48E-01	3,55E-04	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	7,30E-03
Betão Celular (poroso)	1,40E-03	4,15E-01	2,18E-08	6,69E-04	4,29E-05	8,47E-05	3,25E+00	2,03E-01
Argamassa Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01

Estes parâmetros foram obtidos pela base de dados utilizada como referência, publicada por Bragança que podem ser consultadas no anexo A2.

6.2.6. INTERPRETAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA

6.2.6.1. Observações Gerais

Na interpretação do ciclo de vida são analisados os resultados para os sistemas construtivos, através do auxílio de gráficos obtidos a partir das tabelas presentes no anexo A3 referentes à aplicação do princípio adotado para a quantificação dos impactes ambientais dos indicadores. Por fim, são tecidas algumas considerações gerais e recomendações baseadas na análise efetuada.

As soluções construtivas em análise para reabilitação energética de coberturas inclinadas e planas consideram um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) semelhante, garantindo o mesmo desempenho energético do elemento construtivo após intervenção. Como tal, e devido às limitações da análise de ciclo de vida em fase de utilização pelo método aplicado, este pressuposto garante uma comparabilidade de impactes ambientais por indicador entre soluções construtivas.

Dentro da análise de cada solução construtiva, são tecidas comparações entre a seleção de vários materiais de isolamento térmico, com espessura variável de modo a garantir o mesmo desempenho energético entre soluções.

6.2.6.2. Coberturas Inclinadas

A interpretação dos resultados referentes a categoria de impacto ambiental que avalia a disponibilidade e quantidade de materiais e combustíveis fósseis extraídos para obtenção de produtos (ADP), destaca a solução de reabilitação de uma cobertura com desvão habitável com isolamento sobre a estrutura resistente (CI 2) como a mais prejudicial nesta categoria quando está prevista uma substituição de revestimento de cobertura cerâmica superior a 25% (2B), em qualquer seleção de isolamento térmico. Para intervenções cujo revestimento exterior se encontra em condições favoráveis de conservação e funcionalidade assegurada, ou seja, com substituição de telhas cerâmicas próxima dos 0%, a solução CI 1 passa a dominar os impactos neste indicador. A hipótese CI 4 é a que provoca menos prejuízo no esgotamento de recursos abióticos.

Em relação à seleção de isolamento térmico, o poliestireno expandido (EPS) e a lã mineral (MW) apresentam vantagens em relação aos outros materiais em todas as soluções construtivas.

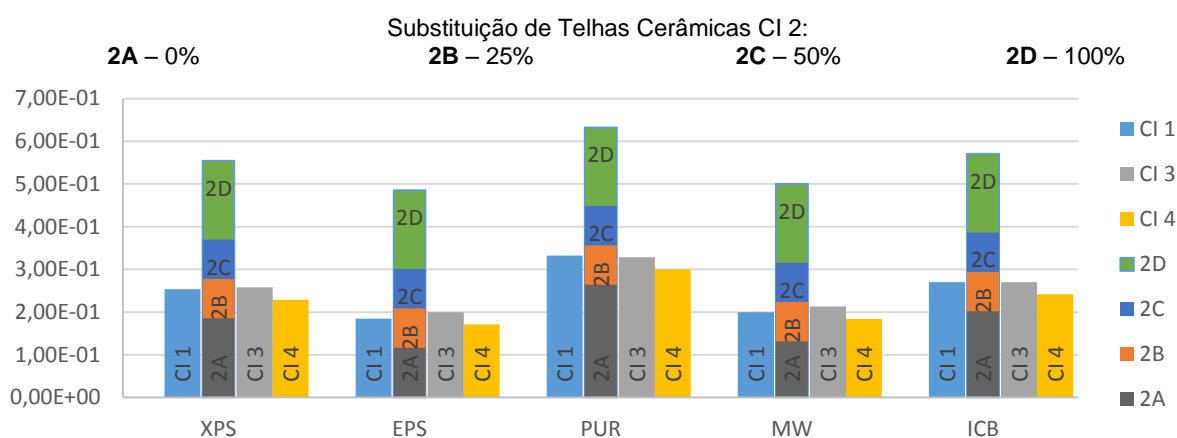


Fig. 6.4 – IACV para coberturas inclinadas: Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP)
[kg Sb eq]

As alterações climáticas devido à emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera, estudado pelo indicador GWP, apresenta valores muito favoráveis para todas as soluções que optem por aglomerado de cortiça expandida como material de isolamento térmico. Esta hipótese só se torna desfavorável quando é indispensável ocorrer alguma substituição do revestimento exterior.

Em relação aos restantes materiais em estudo, o poliestireno expandido apresenta maiores impactos em todas as soluções construtivas, representando elevadas emissões de CO₂ para a atmosfera em comparação com o ICB.

Quanto às soluções construtivas, em geral a que apresenta maiores malefícios para o efeito de estufa é a intervenção na cobertura de desvão habitável com isolamento térmico sob estrutura resistente (CI 1), quando não considerada a influência da substituição de telhas cerâmicas da solução CI 2. Caso contrário, esta última será a pior opção para reabilitação de coberturas inclinadas com desvão habitável. Para desvão não habitável, as soluções CI 3 e CI 4 apresentam valores muito próximos de emissões de CO₂ para a atmosfera para todos os materiais.

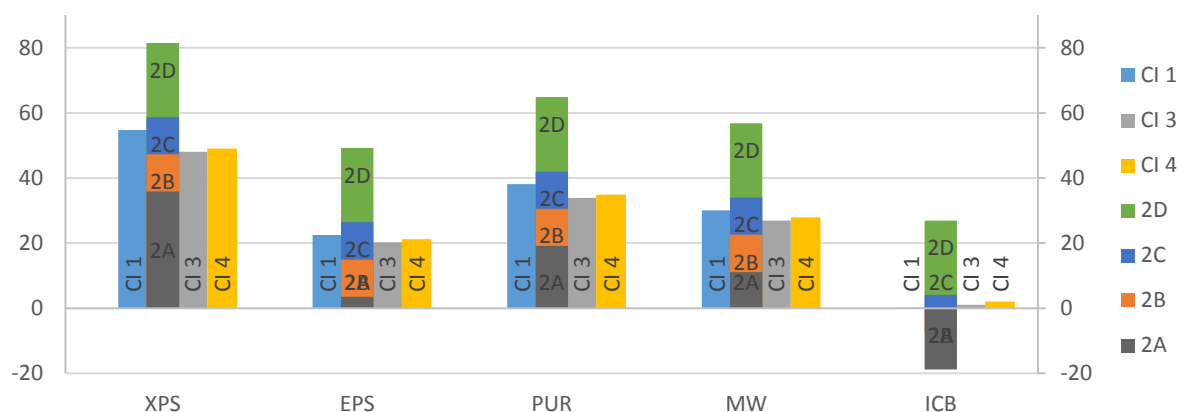


Fig. 6.5 - IACV para coberturas inclinadas: Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO₂ eq]

O aumento da quantidade de radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre é consideravelmente superior quando é feita a seleção de poliestireno extrudido como material de isolamento térmico em qualquer solução construtiva. Ainda considerando o XPS, é possível observar que as soluções construtivas para desvão habitável (CI 1 e CI 2) apresentam valores próximos, e que o revestimento exterior não tem efeitos revelantes neste indicador.

As soluções construtivas que optem por isolamentos térmicos que não o XPS, não revelam influência significativa para a destruição da camada de ozônio.

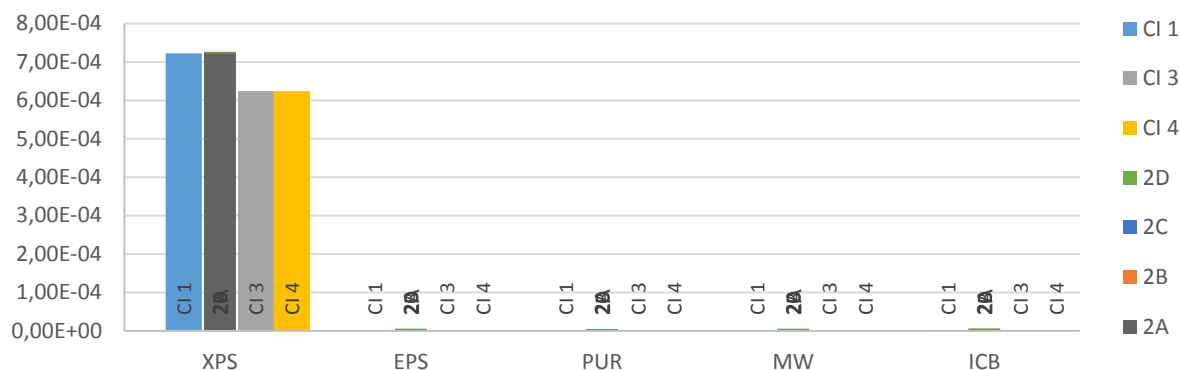


Fig. 6.6 - IACV para coberturas inclinadas: Potencial de Destruição da Camada de Ozono Estratosférico (ODP) [kg CFC-11 eq]

Relativamente à acidificação do solo e água, observa-se uma preeminência dos efeitos da solução construtiva CI 2, cada vez mais agravada com o aumento da substituição do revestimento exterior. As restantes soluções construtivas apresentam valores muito semelhantes.

Ao nível da seleção de material de isolamento, o EPS é menos propício à formação de compostos acidificantes relativamente às restantes alternativas.

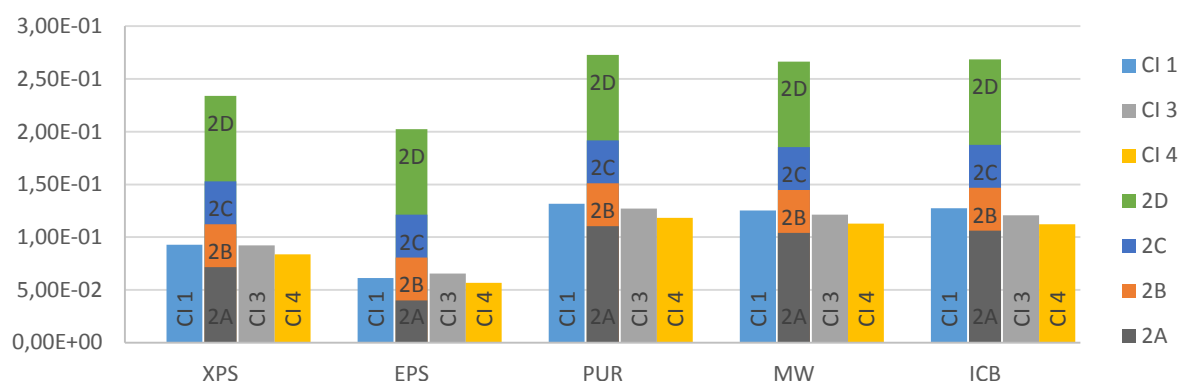


Fig. 6.7 - IACV para coberturas inclinadas: Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos (AP) $[\text{kg SO}_2 \text{ eq}]$

A formação de ozônio troposférico por químicos reativos é consideravelmente menos prejudicial para a seleção de XPS como isolamento térmico em relação às restantes hipóteses. Dentro desta análise, a solução construtiva CI 2 salienta-se negativamente, e mostra alguma dependência do revestimento exterior. Por sua vez, as opções que envolvem o EPS revelam maiores emissões de compostos químicos para todas as soluções construtivas.

Ainda é possível inferir que este indicador depende maioritariamente da seleção do isolamento térmico, uma vez que a mancha gráfica é muito semelhante em todas séries de dados de isolamento.

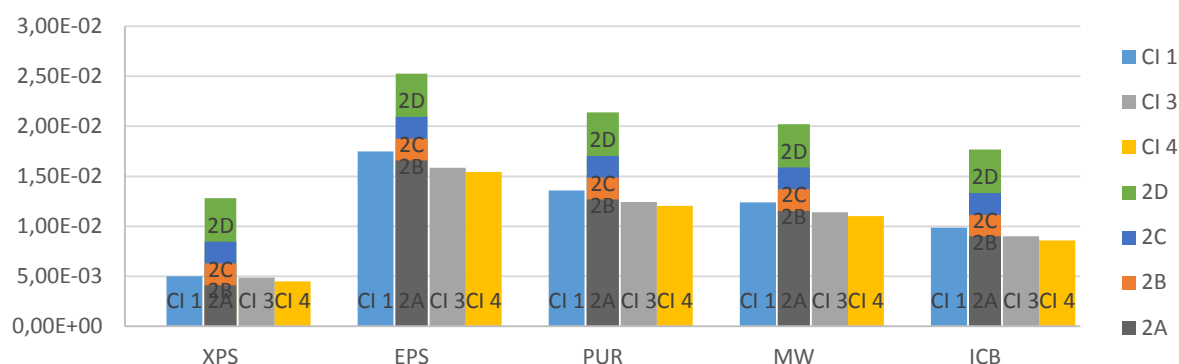


Fig. 6.8 - IACV para coberturas inclinadas: Formação de Ozono Troposférico (POCP) $[\text{kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq}]$

A solução construtiva com maior influência na eutrofização de recursos hídricos refere-se à CI 2, dependente da substituição do revestimento exterior. As restantes soluções construtivas apresentam proximidade nos resultados. É de salientar que o material de isolamento constituído por poliuretano (PUR) destaca-se nas emissões de nutrientes para o ambiente.

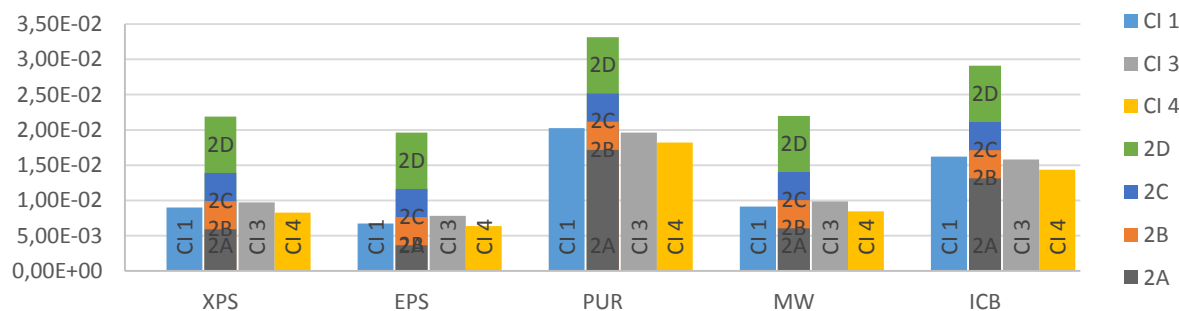


Fig. 6.9 - IACV para coberturas inclinadas: Eutrofização (EP) $[\text{kg PO}_4 \text{ eq}]$

Ao nível da energia não renovável associada à análise *Cradle-to-Gate* consumida pelas soluções construtivas, é salientada a influência do revestimento exterior, tornando a solução construtiva CI 2 a que mais contribui para o esgotamento de recursos energéticos não renováveis. As restantes soluções construtivas mostram consumos energéticos muito semelhantes.

Relativamente ao material de isolamento térmico, o poliuretano requer maiores recursos energéticos para a sua produção. Os materiais com efeitos menores são o EPS e MW com valores muito semelhantes neste indicador.

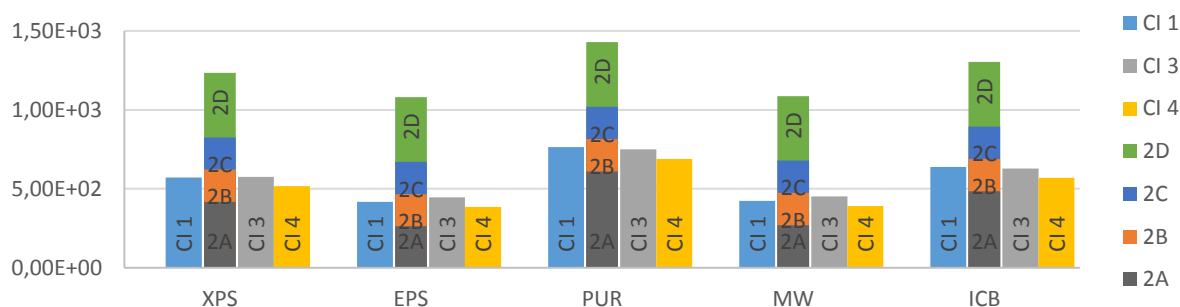


Fig. 6.10 - IACV para coberturas inclinadas: Energia Não Renovável Incorporada (ENR) [Mj eq]

O indicador ER expressa a predileção na utilização de energias renováveis para a produção dos materiais de construção constituintes de cada solução construtiva. Na seleção de materiais de isolamento, o ICB é notoriamente aquele que apresenta maiores vantagens em todas as soluções de reabilitação estudadas. A solução CI 2, ainda para o material referido, apresenta vantagem em relação às restantes soluções.

Relativamente aos materiais de isolamento remanescentes, os resultados são muito próximos, salientando sempre a predominância da solução construtiva CI 2.

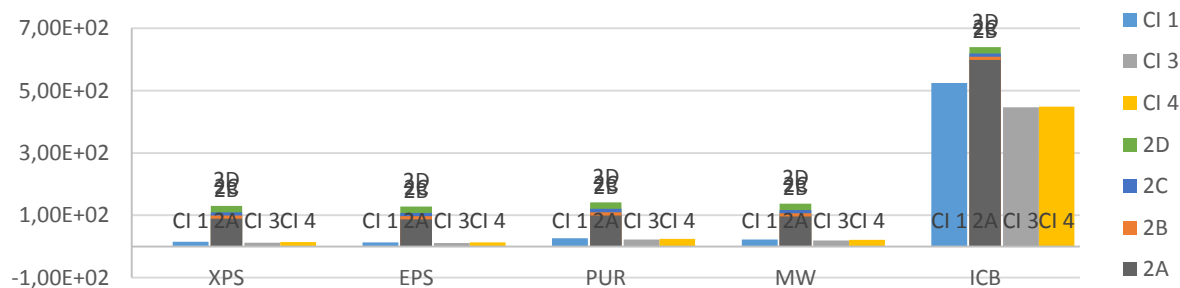


Fig. 6.11 – IACV para coberturas inclinadas: Energia Renovável Incorporada (ER) [Mj eq]

6.2.6.3. Coberturas Planas

O primeiro indicador analisado refere-se à quantidade de recursos naturais necessários à produção de materiais de construção. Os resultados mostram valores muito equilibrados em relação à seleção de isolamento térmico, mas com observação mais detalhada verifica-se que o poliuretano apresenta impactes ligeiramente superiores.

A cobertura tradicional (P1) apresenta sempre maiores impactes em comparação às restantes soluções construtivas. Nas hipóteses estudadas de cobertura jardim, a solução P4 referente à colocação de isolamento sob a estrutura resistente revela maiores necessidades de exploração de recursos naturais.

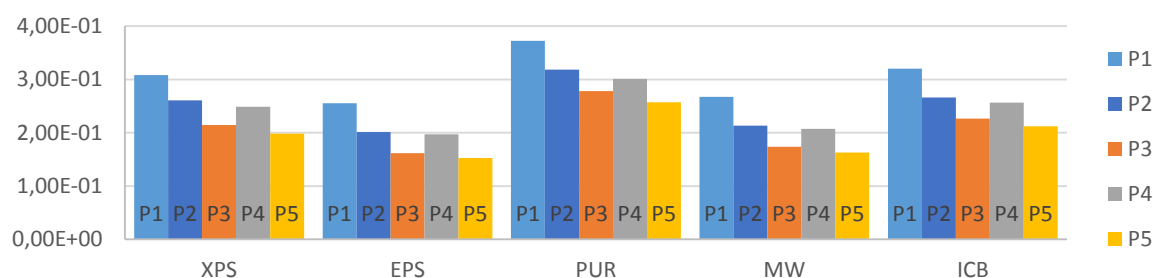
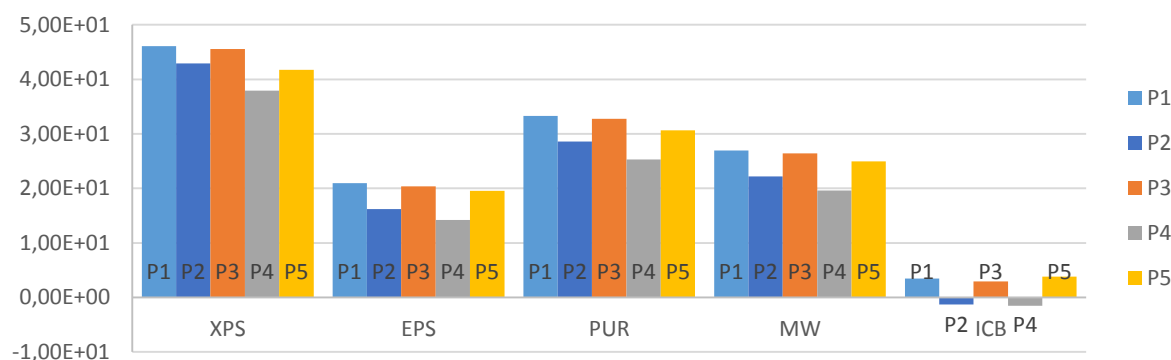


Fig. 6.12 - IACV para coberturas planas: Esgotamento dos Recursos Abióticos (ADP) [kg Sb eq]

A influência da seleção de materiais de isolamento térmico para as alterações climáticas é analisada segundo o indicador GWP, revelando para todas as soluções construtivas de reabilitação de coberturas planas a vantagem na utilização de ICB em detrimento dos restantes materiais. O XPS, por sua vez, possui maior relevância para as emissões de gases de estufa.

Apesar das soluções construtivas apresentarem valores semelhantes neste indicador para cada material de isolamento, a hipótese com maior impacto é a cobertura tradicional para as soluções com revestimento pesado. Por sua vez, para coberturas jardim, é desvantajosa a opção de isolamento sobre a estrutura resistente.

Fig. 6.13 - IACV para coberturas planas: Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO₂ eq]

O XPS é sem dúvida o material com maior potencial de destruição da camada de ozono estratosférico, exibindo para os restantes materiais valores desprezáveis. As soluções construtivas encontram-se com resultados muito equilibrados, salientando a influência do isolamento térmico neste indicador. No entanto, a solução construtiva para cobertura invertida (P2) salienta-se ligeiramente das restantes. Com auxílio das tabelas do anexo A3 é possível justificar este valor pela consideração da espessura do XPS, sendo este mais elevado para a solução construtiva em questão.

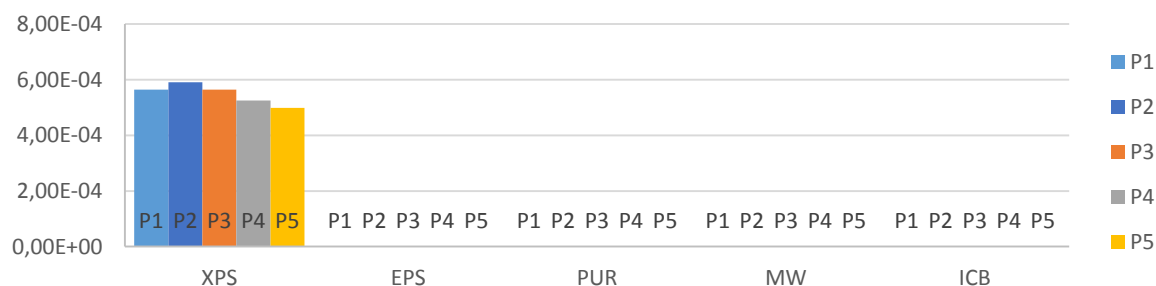


Fig. 6.14 - IACV para coberturas planas: Destruição da Camada de Ozono Estratosférico (ODP) [kg CFC-11 eq]

Na categoria de acidificação do solo e recursos hídricos, o EPS revela menores impactos para a análise de materiais de isolamento térmico. A solução de reabilitação de cobertura invertida, de entre todas as outras soluções, tem um ligeiro destaque neste indicador.

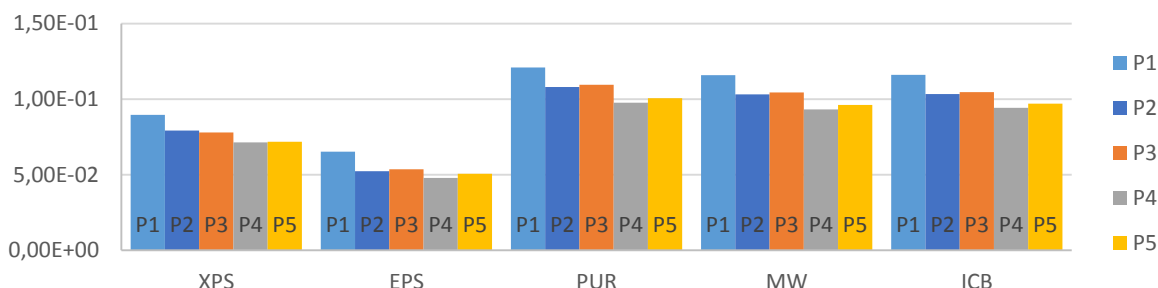


Fig. 6.15 - IACV para coberturas planas: Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos (AP) [kg SO₂ eq]

Na oxidação fotoquímica que resulta em formação de ozono troposférico, a cobertura invertida continua a prevalecer em relação às restantes soluções para qualquer tipo de material de isolamento térmico. O EPS é, de entre os materiais de isolamento térmico, o que revela pior desempenho, representando mais do dobro do impacto do XPS resultante da formação de compostos químicos reativos.

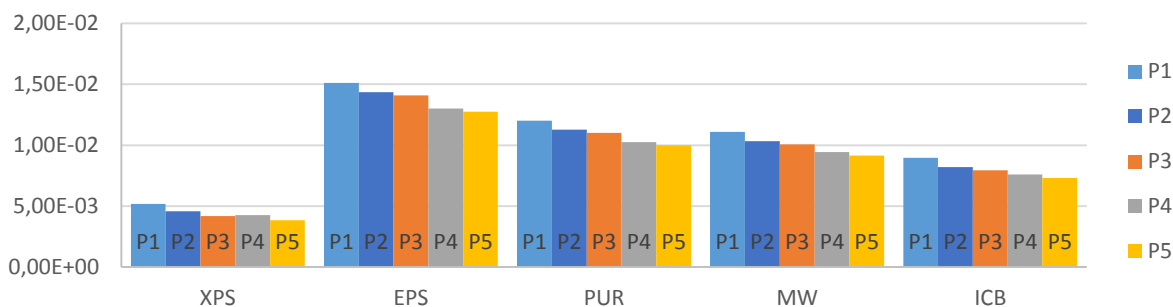


Fig. 6.16 – IACV para coberturas planas: Formação de Ozono Troposférico (POCP) [kg C₂H₄ eq]

O potencial de eutrofização incitado pelas emissões de azoto e fósforo da produção de materiais, é mais gravoso quando selecionado o de poliuretano (PUR) como material de isolamento térmico em todas as soluções construtivas.

A cobertura invertida apresenta maiores impactos também para esta categoria, para as soluções de reabilitação com revestimento pesado. Para coberturas jardim, o isolamento sobre a estrutura resistente é a menos vantajosa.

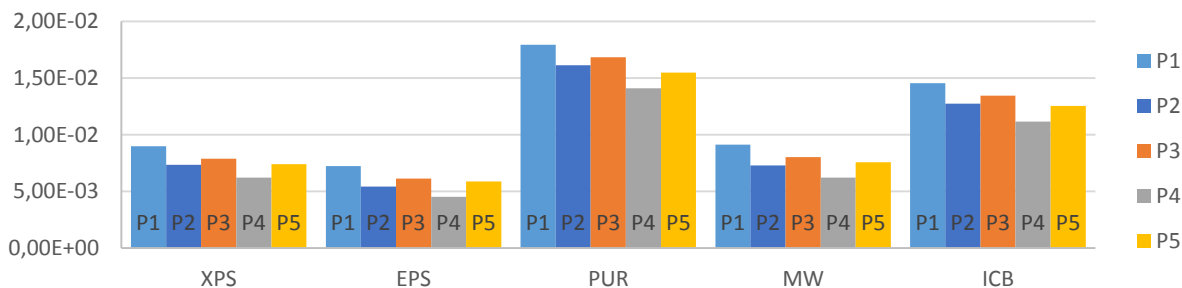


Fig. 6.17 - IACV para coberturas planas: Eutrofização (EP) [kg PO₄ eq]

Em relação à energia não renovável incorporada na produção de materiais necessários à reabilitação energética de coberturas planas, a solução com maior contributo para o esgotamento deste tipo de recursos é a cobertura invertida, em cada hipótese de isolamento térmico. Por sua vez, o isolamento com pior desempenho é o poliuretano, apesar de a diferença não ser muito significativa em relação aos restantes materiais.

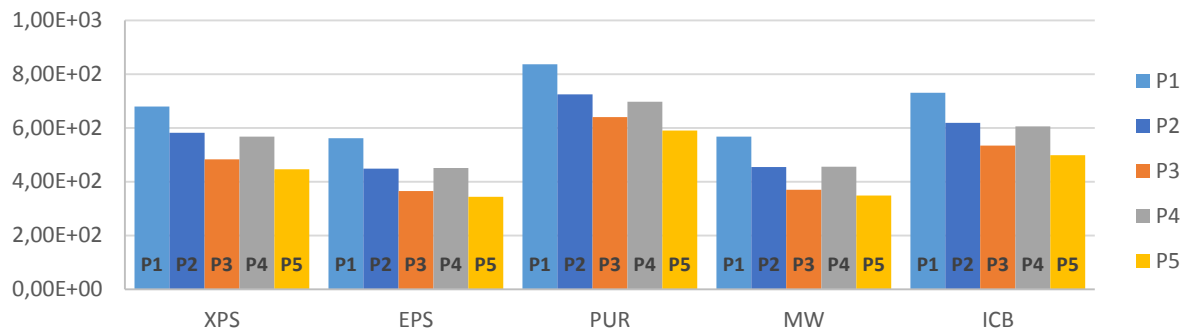


Fig. 6.18 - IACV para coberturas planas: Energia Não Renovável Incorporada (ENR) [MJ eq]

O ICB tem resultados muito favoráveis em relação às escolhas energéticas para a sua produção, em relação com os restantes materiais de isolamento. As soluções construtivas apresentam novamente resultados muito equilibrados entre si, havendo apenas uma ligeira distinção entre as soluções de revestimento pesado e coberturas jardim.

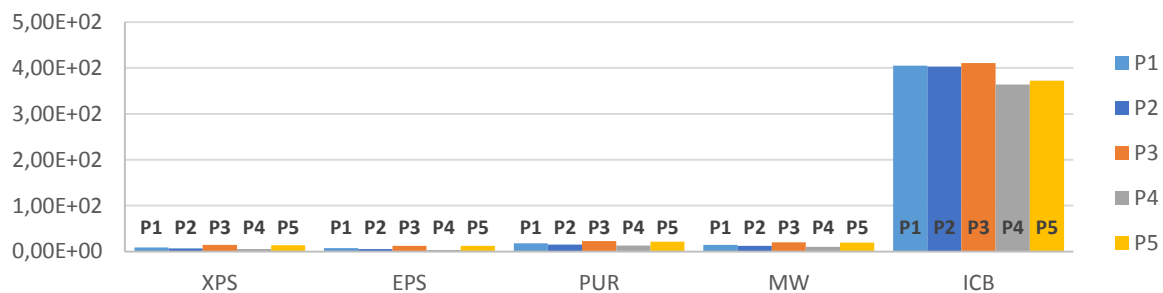


Fig. 6.19 - IACV para coberturas planas: Energia Renovável Incorporada (ER) [MJ eq]

6.2.6.4. Conclusões e Recomendações

Com base na interpretação do impacto do ciclo de vida segundo os indicadores de impacto ambiental das soluções construtivas propostas para reabilitação energética de coberturas, numa perspetiva *Cradle-to-Gate*, são tecidas recomendações na seleção de materiais de isolamento térmico e preferência sobre certas soluções construtivas em prol de outras considerando apenas o aspeto ambiental.

Iniciando com a particularidade das **coberturas inclinadas com desvão habitável**, conclui-se:

- A solução CI 2, com colocação do isolamento térmico sobre a estrutura resistente, é recorrentemente a mais desvantajosa sempre que é requerida substituição de revestimento exterior.
- Quando as telhas cerâmicas são reutilizadas em grande percentagem, as duas soluções para desvão habitável provocam impactos semelhantes na maioria dos indicadores, mas

passando a dar menor impacte à solução CI 1 com isolamento sob estrutura resistente, em relação à CI 2.

- A conclusão anterior é apoiada pelo indicador de energia renovável incorporada (ER) sendo este um indicador não negativo, confere à solução CI 2 com maiores preocupações com a preferência de energia nos processos de construção dos seus materiais.
- Relativamente aos materiais de isolamento térmico, a análise geral dos indicadores não favorece a seleção explícita de um material em prol de outro.
- O poliestireno extrudido será o que apresenta contribuições de impactes à escala global mais significativos pelo seu peso na destruição da camada de ozono. Acumulando este fato com os valores dos restantes indicadores, onde o XPS mostra valores semelhantes e medianos às restantes opções, resulta um grande impacte a nível global deste material de isolamento.
- O isolamento com poliuretano numa perspetiva de análise global dos indicadores, apresenta impactes superiores às restantes opções, não sendo preferível a sua seleção.
- Baseando as preocupações apenas no impacte associado à utilização de energia não renovável para produção de materiais de isolamento, a seleção de poliuretano não apresenta novamente vantagens em relação às outras opções. De acordo com a disponibilidade de recursos energéticos renováveis, o aglomerado de cortiça expandida oferece melhores oportunidades.

Para este tipo de utilização de cobertura, recomenda-se:

- Levantamento do estado de conservação do revestimento exterior (telhas cerâmicas), e estimação da percentagem de substituição das mesmas.
- Com base no ponto anterior, seleccionar a solução mais vantajosa:
 - Substituição do revestimento exterior inferior a 25%: Isolamento térmico sobre a estrutura resistente (proposta na hipótese CI 2)
 - Substituição do revestimento exterior superior a 25%: Isolamento térmico sob a estrutura resistente (proposta na hipótese CI 1)
- Disponibilidade de recursos energéticos renováveis sugere a consideração de aglomerado de cortiça expandida como material de isolamento térmico. Quando a exploração de recursos energéticos não renováveis é restrita, a escolha recai sobre o poliestireno expandido ou sobre a lá mineral.

Relativamente a **coberturas inclinadas com desvão não habitável**, pode-se concluir:

- É preferível do ponto de vista de impacte ambiental a colocação de isolamento térmico sob a estrutura resistente, segundo a hipótese CI 4.
- Com base nos mesmos pressupostos e limitações mencionados para a utilização do desvão habitável, a melhor seleção do isolamento térmico é variável pelos indicadores.
- Considerando novamente a disponibilidade de recursos renováveis, a utilização de ICB é vantajosa em relação aos restantes materiais.
- Caso contrário, EPS e MW apresentam impactes semelhantes numa perspetiva geral.

Com base nestas ideias, as recomendações que podem ser feitas resumem-se a:

- Posicionamento do isolamento térmico sob a estrutura resistente.
- Preferência pelo aglomerado de cortiça expandida quando existem condições favoráveis à utilização de energia renovável na sua produção. Caso contrário, seleção de poliestireno expandido ou lã mineral.

A interpretação do impacto do ciclo de vida *Cradle-to-Gate* de soluções de **coberturas planas com revestimento exterior pesado**, permite concluir:

- Para uma intervenção de reabilitação energética a escolha da posição do isolamento térmico relativamente à impermeabilização, cobertura tradicional ou invertida, dá preferência à última ao analisar os indicadores de impacto ambiental na sua generalidade.
- Quanto à posição do isolamento térmico relativamente à estrutura resistente numa intervenção de reabilitação, as conclusões não são tão evidentes. A opção de colocação do isolamento térmico pelo interior (P3) gera sempre menores impactos do que a cobertura tradicional (P1), mas a comparação com a cobertura invertida (P2) é variável de indicador para indicador. Em termos médios, a solução P3 aparenta ser a menos prejudicial.
- A seleção do isolamento térmico é novamente dependente do indicador analisado. O XPS apresenta, tal como na análise das coberturas inclinadas, potencial de aquecimento global muito elevado em relação aos restantes materiais. Mas, na análise geral dos indicadores, o poliuretano é aquele que aparenta uma média superior.
- O ICB volta a ser a opção preferida caso seja possível aceder a fontes energéticas renováveis para a produção dos materiais de isolamento. Caso contrário, a melhor seleção a nível de impacto ambiental geral dos indicadores analisados recai novamente entre o EPS e o MW com médias semelhantes.

Pode-se então recomendar para este tipo de coberturas, e tendo apenas em consideração os impactos ambientais da análise *Cradle-to-Gate*:

- A escolha da posição do isolamento térmico pelo interior é preferível à opção exterior, exclusivamente em termos de critérios de impacto ambiental da análise *Cradle-to-Gate*. Importa salientar que esta opção compromete o consumo energético na fase de utilização dos edifícios, através da diminuição da utilização da inércia térmica da cobertura para o desempenho de verão.
- Caso seja selecionada a posição de isolamento térmico pelo exterior, a cobertura invertida é menos prejudicial em relação à tradicional.
- A seleção do material de isolamento térmico depende do tipo de energia disponível pelo produtor, sendo preferível a seleção de ICB quando existe a opção de utilização de recursos renováveis. Caso contrário, deve-se escolher o EPS ou o MW como material de isolamento.

Os resultados para as soluções de reabilitação analisadas para **coberturas jardim**, mostram que:

- A solução com maior impacto ambiental resultante da seleção da posição do isolamento térmico em relação à estrutura resistente não é unânime, uma vez que tanto a solução P4 como a P5 apresentam pior desempenho em certas categorias.

- Como tal, a melhor posição do isolamento térmico seria definida com base numa análise de ciclo de vida da totalidade do edifício onde seria inserida a solução construtiva
- Relativamente ao material de isolamento térmico, a escolha recairá novamente na disponibilidade de recursos energéticos renováveis, sendo o ICB a opção com melhores resultados. Caso contrário, deverá ser selecionada o EPS ou MW como material de isolamento térmico.

Quando a intervenção de reabilitação prevê a atuação numa cobertura jardim, recomenda-se:

- Ao projetista decidir a posição do isolamento térmico, com base em ponderações dos indicadores de impacto ambiental segundo o método mais convenientes, e inserido na análise do ciclo de vida da totalidade do edifício.
- A análise da disponibilidade de acesso a energia renovável por parte do produtor de material de isolamento, selecionando o ICB como material preferencial. O EPS e a MW também são opções viáveis.

6.3. ACV DE UM EDIFÍCIO HABITACIONAL: CASO DE APLICAÇÃO

6.3.1. MODELO DE ACV

Nesta seção será aplicado o modelo de avaliação do ciclo de vida proposto por Mateus [18] e Bragança [2] a uma intervenção de reabilitação de um edifício habitacional unifamiliar, focada nos impactos ambientais das escolhas arquitetónicas para cobertura e na seleção de isolamento térmico das mesmas.

6.3.2. DESCRIÇÃO GERAL DO CASO DE ESTUDO

O caso em estudo situa-se no concelho de Vila do Conde, a uma altitude de 114 metros e distância ao mar superior a 5 quilómetros. É uma edificação com tipologia T3, constituída por dois pisos não enterrados:

- Piso 0: sobre desvão sanitário fracamente ventilado, constituído por uma sala comum, um quarto, uma cozinha e copa, uma despensa, uma casa de banho completa, um *hall*, um corredor, uma escada de comunicação entre pisos e uma lavandaria (espaço não útil).
- Piso 1: sobre o piso 0, com um *hall*, um quarto, um escritório, um quarto de banho e uma suíte com quarto de vestir e casa de banho privativa.

Quadro 6.9 - Áreas da Habitação Unifamiliar

	Área (m ²)	Área Útil (m ²)
Implantação	123,84	
Piso 0	123,84	102,97
Piso 1	94,20	65,95
Total Edifício	218,04	168,92
Cobertura Piso 2	94,20	
Cobertura Piso 1	29,64	

A ventilação da habitação é mista, realizada através de dispositivos de admissão de ar autorreguláveis (grelhas) na fachada e extração mecânica de ar através de extratores movidos a energia elétrica de baixo

nível sonoro nos compartimentos de serviço, nomeadamente nas instalações sanitárias com extratores de 95 m³/h caudal e potência de 15 W, e na cozinha com um ventilador com 150 W de potência com capacidade de extração de 250 m³/h de ar.

O sistema de aquecimento central é constituído por uma caldeira a gás com uma potência inferior a 25 kW, e não será previsto qualquer sistema auxiliar para arrefecimento ou ar-condicionado.

As peças desenhadas da solução de reabilitação adotada para o edifício em estudo, plantas, corte e alçados, encontram-se disponíveis para consulta no anexo A4.1.

6.3.3. DEFINIÇÃO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Os sistemas construtivos estudados localizam-se na cobertura, com a adoção de dois tipos de soluções construtivas em zonas distintas da construção. Segundo os desenhos técnicos presentes no anexo A4.1, para o piso 1 é adotada uma cobertura em painel *sandwich* pré-fabricado com adição de isolamento térmico sobre a camada resistente, e para o piso 0 a escolha dos projetistas recai sobre uma cobertura em terraço, invertida.

6.3.4. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

6.3.4.1. Objetivo

O objeto de estudo para o caso prático será a seleção de materiais de isolamento térmico das soluções adotadas para a reabilitação dos elementos construtivos de cobertura, segundo o respetivo impacto ambiental na totalidade do ciclo de vida do edifício. O estudo incide ainda na seleção de espessuras de isolamento, tendo em conta a afetação deste dado para os impactos associados ao consumo energético na fase de utilização do edifício.

O processo de reabilitação dos sistemas de cobertura prevê manter apenas a estrutura de suporte e camada de forma (para a solução em terraço), com substituição ou incorporação de todos os restantes materiais, nomeadamente o material de isolamento térmico (e painel *sandwich*), revestimentos interior e exterior, impermeabilização e dessolidarização.

6.3.4.2. Unidade Funcional

A compatibilidade entre soluções é definida de acordo com a unidade funcional referentes a:

- **Solução Construtiva: 1 m² de área útil**
- Materiais de Construção: 1 kg
- Energia: kWh/ano
- Vida Útil de Referência da Cobertura: 50 anos
 - Vida Útil de Referência do Revestimento Mosaico Cerâmico: 30 anos
 - Vida Útil de Referência da Impermeabilização: 30 anos

6.3.4.3. Fronteira do Sistema

A fronteira do sistema em estudo será a totalidade do edifício, constituído pelos elementos verticais e horizontais, incluindo as soluções de cobertura.

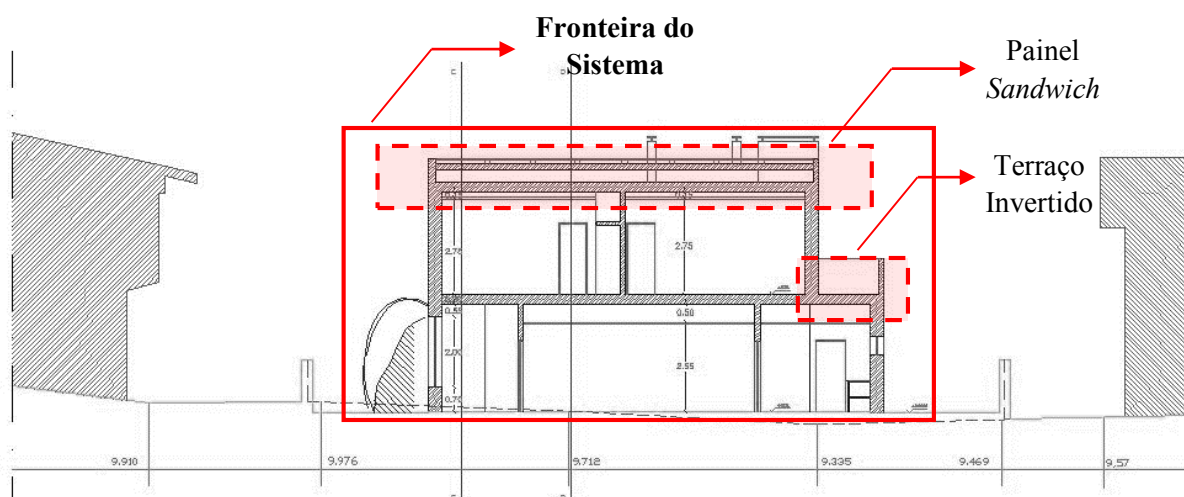


Fig. 6.20 - Fronteira do sistema do edifício habitacional unifamiliar em estudo

A fronteira temporal é de 50 anos de vida útil do edifício, sendo possível a aplicação das bases de dados de materiais e equipamentos publicadas por Mateus [18] e Bragança [2]. Relativamente aos materiais de revestimento em mosaico cerâmico e impermeabilização, serão considerados para ambos uma substituição ao fim de 30 anos de utilização, como sugere Barros [96].

6.3.4.4. Categorias de Impacte Ambiental

As categorias de impacte ambiental estudadas serão as descritas no subcapítulo 6.2.3.4, quadro 6.6..

6.3.5. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA

6.3.5.1. Recolha de Dados

Os dados de emissões e impactes ambientais para cada categoria foram obtidos pelas bases de dados de Mateus [18] e Bragança [2], presentes no anexo A2. Em relação às propriedades físicas e térmicas, utilizam-se dados de projeto, ou quando não são conhecidos, recorre-se a tabelas técnicas nomeadamente à publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil intitulado “*Coefficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios : versão actualizada 2006*” [92], de Pina dos Santos.

6.3.5.2. Input de Dados dos Materiais de Cobertura

O painel *sandwich* é constituído por uma chapa de alumínio 50 % reciclado, e núcleo isolante composto por espuma rígida de poliuretano (PUR) com espessura média de 40 mm. Este elemento é pré-fabricado, sendo apenas entregue em obra esta solução, sem mudança no tipo de isolamento ou espessura. Será, então, considerado apenas uma hipótese de revestimento nas simulações efetuadas no impacte do ciclo de vida da solução de cobertura *sandwich*.

Quadro 6.10 - Propriedades dos materiais utilizados nas coberturas

	Condutibilidade Térmica (λ)	Massa Volúmica Aparente Seca (ρ)	Espessura	Unidade Funcional
	[W/(m°C)]	[kg/m³]	[m]	[kg/m²]
Alumínio 50% Reciclado	230	2700	0,005	13,5
Mosaico Cerâmico	0,34	1000	0,02	20
Betonilha	2	2000	0,05	100
Fibra de Vidro	1	160	0,001	0,16
Membrana PVC flexível	0,14	1200	0,002	2,4
Gesso Cartonado	0,25	769	0,013	10
Poliestireno Expandido Extrudido (XPS)	0,037	40	0,04	1,6
			0,08	3,2
			0,1	4
Poliestireno Expandido Moldado (EPS)	0,04	20	0,04	0,8
			0,08	1,6
			0,1	2
Poliuretano Expandido Rígido (PUR)	0,04	50	0,04	2
			0,08	4
			0,1	5
Lã Mineral (MW)	0,04	100	0,04	4
			0,08	8
			0,1	10
Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)	0,045	140	0,04	5,6
			0,08	11,2
			0,1	14

6.3.6. AVALIAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA (AICV)

6.3.6.1. Princípio Adotado para a Quantificação dos Impactes do Ciclo de Vida

O método para quantificação de impactes do ciclo de vida da reabilitação da cobertura do edifício em estudo (adaptado do quadro 3.8), engloba os impactes referentes à fase *Cradle-to-Gate* dos materiais de construção utilizados nas duas soluções de cobertura aplicadas referentes à fase de construção, com consideração dos cenários de manutenção respetivos e do consumo energético durante o período de utilização. Como simplificação, o cenário de fim de vida (desmantelamento e tratamento de RCD) não é considerado nesta análise por ser de um cenário de difícil exatidão e se considerar de menor importância para habitações unifamiliares, com base na literatura consultada [50].

Quadro 6.11 - Princípio adotado para a quantificação dos impactos do ciclo de vida das soluções de reabilitação de cobertura da moradia unifamiliar

* Solução (Ci)	Área (m)	Indicadores Ambientais								
C ₁	A ₁	×	ADP ₁ /m ²	GWP ₁ / m ²	ODP ₁ / m ²	AP ₁ / m ²	POCP ₁ / m ²	EP ₁ / m ²	NR ₁ / m ²	R ₁ / m ²
			+	+	+	+	+	+	+	+
C ₂	A ₂	×	ADP ₂ /m ²	GWP ₂ / m ²	ODP ₂ / m ²	AP ₂ / m ²	POCP ₂ / m ²	EP ₂ / m ²	NR ₂ / m ²	R ₂ / m ²
			+	+	+	+	+	+	+	+
B	Impacte Ambiental do Cenário de Manutenção/m².ano		ADP _m	GWP _m	ODP _m	AP _m	POPC _m	EP _m	NR _m	R _m
			=	=	=	=	=	=	=	=
C	Impacte Ambiental Incorporado no Edifício		ADP'ₑ	GWP'ₑ	ODP'ₑ	AP'ₑ	POPC'ₑ	EP'ₑ	NR'ₑ	R'ₘ
			÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
			Duração do período de ciclo de vida em avaliação = 50 Anos							
			÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
			Área útil do edifício = 168,92 m²							
			=	=	=	=	=	=	=	=
D	Impacte Ambiental Incorporado no Edifício/m².ano		ADPₑ	GWPₑ	ODPₑ	APₑ	POPCₑ	EPₑ	NRₑ	Rₘ
			+	+	+	+	+	+	+	+
REH		0,1 × N _{ic} ×	ADP _{ic}	GWP _{ic}	ODP _{ic}	AP _{ic}	POPC _{ic}	EP _{ic}	NR _{ic}	R _{ic}
			+	+	+	+	+	+	+	+
		0,1 × N _{vc} ×	ADP _{vc}	GWP _{vc}	ODP _{vc}	AP _{vc}	POPC _{vc}	EP _{vc}	NR _{vc}	R _{vc}
			+	+	+	+	+	+	+	+
		N _{ac} ×	ADP _{ac}	GWP _{ac}	ODP _{ac}	AP _{ac}	POPC _{ac}	EP _{ac}	NR _{ac}	R _{ac}
			=	=	=	=	=	=	=	=
E	Impacte Ambiental Associado ao Consumo Energético Utilização/m².ano		ADP _o	GWP _o	ODP _o	AP _o	POPC _o	EP _o	NR _o	R _o
			=	=	=	=	=	=	=	=
F	Impacte Total do Ciclo de Vida/m².ano									

* Correspondência às tabelas de resultados no Anexo A4.3. e A4.4.

6.3.6.2. Cálculo dos Impactes do Ciclo de Vida

Na quantificação das categorias de impacto ambiental associado à fase *Cradle-to-Gate* dos materiais de construção, recorre-se à base de dados presente no Anexo A2, e procede-se à transformação desses valores para a unidade funcional. Deste modo, são definidos os impactos ambientais para cada área unitária das soluções construtivas, resultante dos materiais que serão alvo de intervenção.

Devido à difícil previsão de fatores relacionados com a estratégia de manutenção dos sistemas e comportamento dos utilizadores [50], o cenário de manutenção apenas inclui operações de limpeza realizadas pelo proprietário sem implicações ambientais, substituição do revestimento cerâmico e da impermeabilização da cobertura em terraço após 30 anos de utilização [96].

Com os impactos referentes à extensão total das coberturas e a inclusão dos impactos associados à manutenção, é possível determinar o impacto ambiental incorporado no edifício na sua totalidade,

provocado pelas escolhas arquitetônicas. Este valor é ajustado à unidade funcional através da duração do ciclo de vida e da área útil do edifício, sendo possível a sua integração aos impactos associados ao consumo energético na fase de utilização.

As necessidades nominais de energia são obtidas pela verificação do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação [59] em edifícios existentes, com o auxílio da folha de cálculo publicada pelo Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção (ITeCons). Esta aplicação pode ser consultada no anexo A4.2, resultando várias simulações devido à variação do coeficiente de transmissão térmica das soluções de cobertura (U), valor este dependente das propriedades dos materiais de isolamento.

Quadro 6.12 - Valores de coeficiente de transmissão térmica utilizados nas simulações de desempenho energético do edifício habitacional

Simulação		C1		C2	
Isolamento	[mm]	Cobertura <i>Sandwich</i>		Cobertura Terraço	
		U _{ascendente}	U _{descendente}	U _{ascendente}	U _{descendente}
XPS	40	0,64	0,61	0,65	0,62
	80	0,38	0,37	0,38	0,37
	100	0,31	0,31	0,32	0,31
EPS	40	0,67	0,64	0,69	0,66
	80	0,40	0,39	0,41	0,40
	100	0,33	0,33	0,34	0,33
PUR	40	0,67	0,64	0,69	0,66
	80	0,40	0,39	0,41	0,40
	100	0,33	0,33	0,34	0,33
MW	40	0,67	0,64	0,69	0,66
	80	0,40	0,39	0,41	0,40
	100	0,33	0,33	0,34	0,33
ICB	40	0,72	0,69	0,75	0,71
	80	0,44	0,43	0,45	0,43
	100	0,37	0,36	0,37	0,36

O impacto total resulta do conjunto dos impactos ambientais associados ao consumo energético e incorporado, por ano do ciclo de vida e por m² de área útil de edifício.

6.3.7. INTERPRETAÇÃO DO IMPACTE DO CICLO DE VIDA

6.3.7.1. Observações Gerais

Os resultados da folha de cálculo com a aplicação do Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação indicam uma classe energética B- para o resultado de intervenção, qualquer que seja a solução de isolamento térmico de cobertura adotado. Deste modo, é cumprido os valores mínimos de classe energética em pré-certificado ou certificado exigido pelo mesmo regulamento para grandes intervenções de reabilitação.

Quadro 6.13 - Intervalos de Rácio da Classe Energética (R_{NT}) para a determinação da classe energética em pré-certificado e certificado SCE de modelo tipo habitação [59]

$$R_{NT} = N_{tc} / N_t$$

Ntc – Necessidades Nominais de Energia Primária [kWh/m².ano]

Nt – Necessidades Nominais de Energia Primária Máximas [kWh/m².ano]

Classe Energética	Valor de R_{NT}
A +	$R_{NT} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{NT} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{NT} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{NT} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,50$
F	$R_{NT} \geq 2,51$

↑

Grandes Intervenções

Com base na aplicação do princípio adotado, com resultados tabelados disponíveis no anexo A4.4. é possível interpretar em forma gráfica, o impacte ambiental das escolhas de projeto de materiais e características de isolamento térmico segundo os indicadores em estudo. Os resultados apresentados referem-se aos impactes generalizados do ciclo de vida das alternativas em estudo, desde o fabrico de matérias-primas, até ao fim do período de vida útil em fase de utilização da habitação.

6.3.7.2. Interpretação de Resultados

A primeira categoria em análise refere-se ao potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos, ou seja, relacionado com a disponibilidade decrescente dos recursos naturais minerais ou naturais. Aqui, a seleção de isolamento térmico em poliuretano (PUR) mostra ser a menos indicada. Existe um interessante desenvolvimento em termos de espessuras de isolamento mostrando que a espessura intermédia de 80 mm provocará menos impactes nesta categoria durante o ciclo de vida, para os isolamentos de XPS e ICB. As restantes opções mostram menor exploração de recursos abióticos durante o ciclo de vida da habitação, com melhores desempenhos para as espessuras de isolamento mais elevadas.

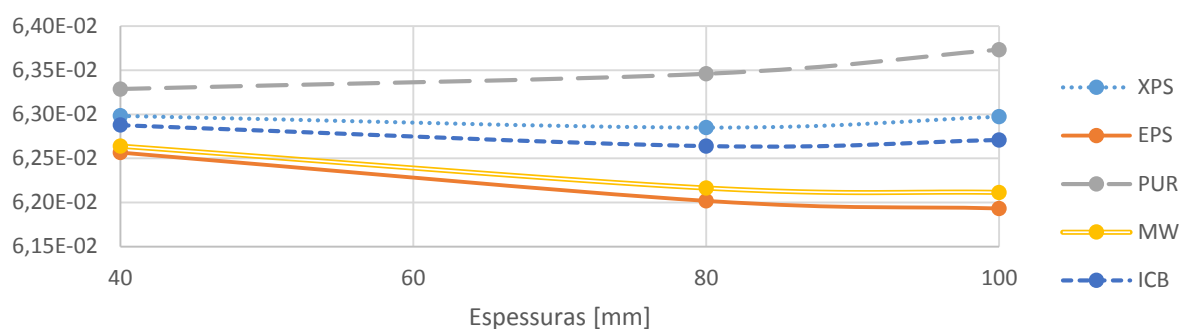


Fig. 6.21 - IACV para edifício habitacional: Esgotamento de Recursos Abióticos (ADP) [kg Sb eq]

As emissões de dióxido de carbono para a atmosfera podem ser avaliadas por duas vias. A primeira diz respeito ao indicador de potencial de aquecimento global, que avalia as emissões de gases de estufa para a atmosfera pelo equivalente de CO₂ por kg de emissão, obtido pela metodologia de análise de ciclo de vida adotada. Nesta interpretação verifica-se maiores quantidades de emissões na seleção de poliestireno extrudado (XPS) relativamente às restantes opções de isolamento, principalmente quando são utilizadas maiores espessuras. Este cenário inverte-se para o ICB, sendo a maior espessura deste material a que apresenta menores emissões de gases de estufa durante o ciclo de vida da habitação.

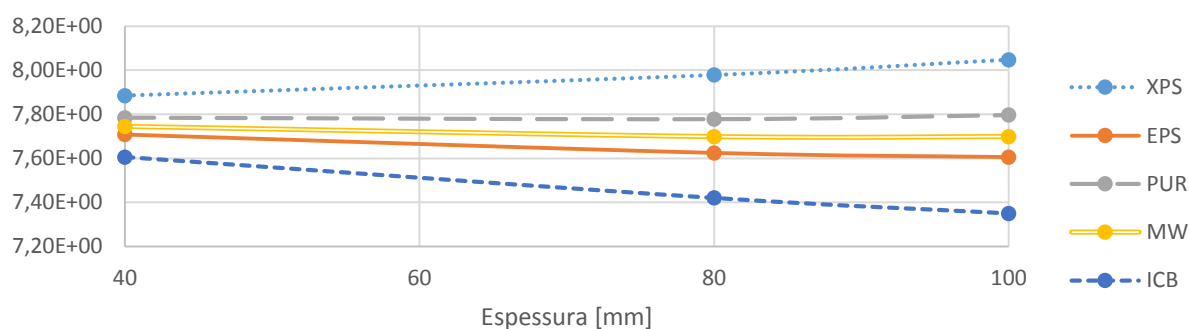


Fig. 6.22 - IACV para edifício habitacional: Potencial de Aquecimento Global (GWP) [kg CO₂ eq]

A segunda via de obtenção de dados refere-se à quantidade de toneladas de emissões de CO₂ por ano para a atmosfera fornecida pelo cálculo das necessidades energéticas segundo o REH através da ferramenta do ITeCons (consultável no anexo A4.2.), relativas apenas à fase de utilização da habitação. Para esta fase inverte-se o desempenho dos materiais, sendo o ICB o que provocará maiores quantidades de emissões na sua utilização em contraposição com o XPS.

Sendo estes resultados apenas referentes à fase de utilização, as emissões de CO₂ devem-se ao fornecimento de energia para a satisfação das necessidades energéticas da habitação. Ou seja, quanto maior a espessura de isolamento, menor as necessidades energéticas da habitação e, consequentemente, menores as emissões atmosféricas relativas à produção de energia. Existe ainda a dependência dos valores de condutibilidade térmica dos materiais, favorecendo a solução de ICB com maior coeficiente de transmissão térmica em comparação com a mesma espessura de XPS.

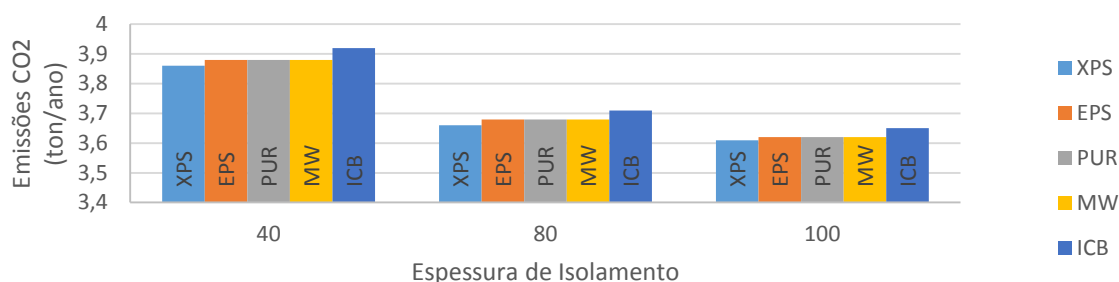


Fig. 6.23 - Emissões de CO₂ [ton/ano] durante a fase de utilização, calculadas pela aplicação do REH

A destruição da camada de ozono estratosférico é potencializada com a seleção de poliestireno extrudido como material de isolamento térmico das coberturas, com direta relação com a sua espessura. Em relação aos restantes materiais, em comparação com o XPS, não apresentam distinções significativas entre eles, sendo qualquer um deles a escolha preferencial para este indicador. Quando a análise exclui o XPS, o PUR apresenta resultados significativamente melhores.

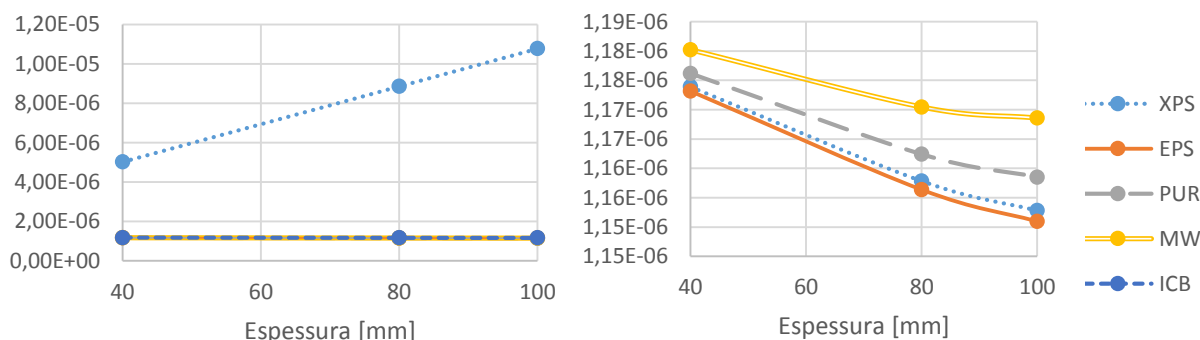


Fig. 6.24 - ICV para edifício habitacional: Destruição da Camada de Ozono Estratosférico (ODP) [kg CFC-11 eq]

A capacidade dos organismos do solo ou água em neutralizar a deposição atmosférica de acidificantes é refletida através do potencial de acidificação, onde se verifica que o aumento da espessura de isolamento térmico representa um fator agravante neste indicador. Por sua vez, a seleção de poliestireno expandido em qualquer espessura estudada, permite potencialidades inferiores na formação de substâncias ricas em dióxido de enxofre.

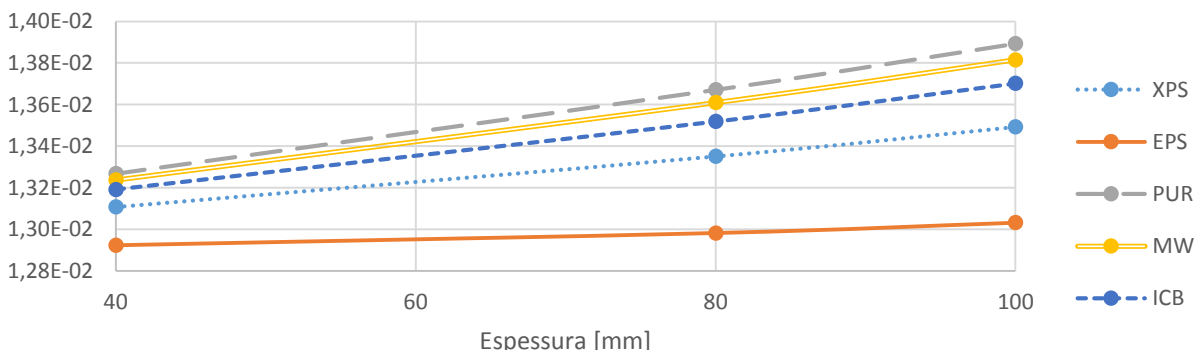


Fig. 6.25 - IACV para edifício habitacional: Acidificação do Solo e dos Recursos Hídricos (AP) [kg SO₂ eq]

Relativamente à formação de ozono troposférico, o poliestireno expandido apresenta maiores contribuições na formação de compostos químicos reativos em comparação com os outros materiais em estudo, existindo uma ligação direta entre as emissões e a espessura de isolamento. A seleção da melhor solução construtiva com base neste indicador deve dar sempre preferência ao XPS. Quando tal não for possível, a seleção depende da relação entre o tipo de material e a espessura. Tomando como exemplo, a escolha da maior espessura de ICB apresenta melhores resultados que a menor espessura de EPS.

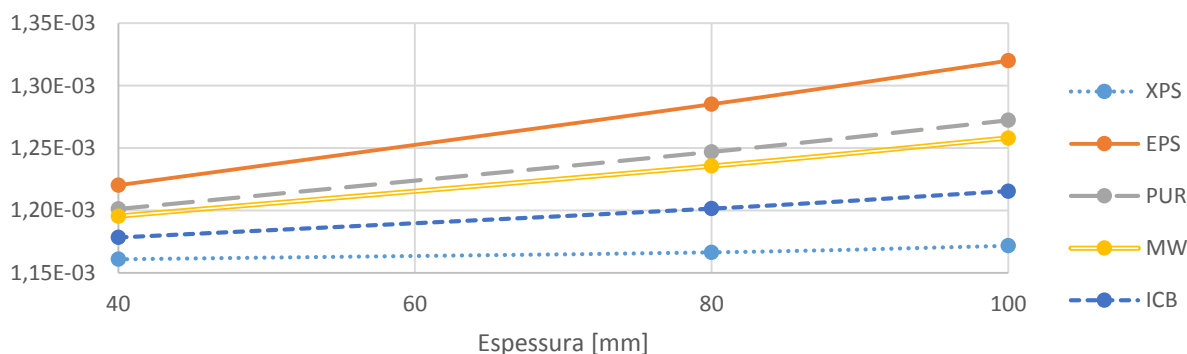


Fig. 6.26 - IACV para edifício habitacional: Formação de Ozono Troposférico (POCP) [kg C₂H₄ eq]

O excesso de emissão de nutrientes para o ambiente, representado pelo potencial de eutrofização, mostra novamente relação direta com a espessura de isolamento. Neste indicador, a escolha de PUR como material de isolamento é a mais desfavorável. Em contraposição, o EPS revela melhor desempenho para qualquer espessura considerada.

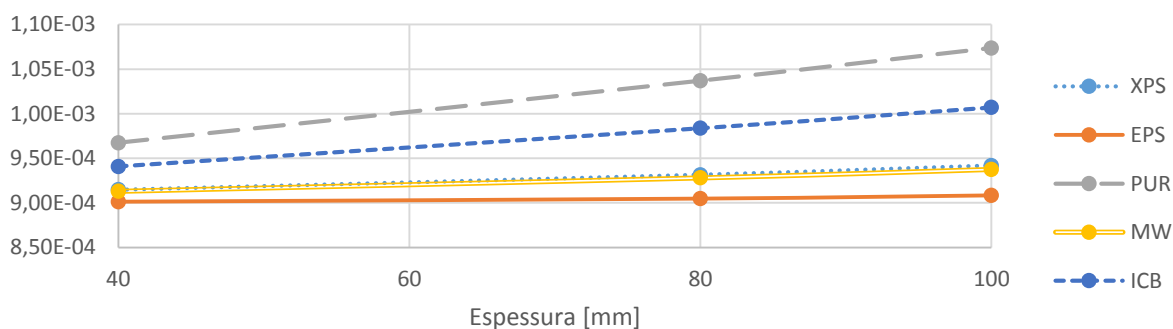


Fig. 6.27 - IACV para edifício habitacional: Eutrofização (EP) [kg PO₄ eq]

Entra-se agora na análise de consumo energético associado às fases do ciclo de vida dos materiais de isolamento térmico em estudo, inicialmente referente à utilização de energia primária não renovável. A contribuição mais evidente para o esgotamento destes recursos pertence sempre a qualquer espessura de PUR selecionada para aplicação nas soluções de cobertura da habitação, sendo mais agravante a espessura superior. Relativamente ao XPS e ICB, o menor contributo recai sobre as espessuras intermédias, voltando a alterar o paradigma para a MW e o EPS onde a maior espessura apresenta menores contributos neste indicador. Estes últimos são os que apresentam, em geral, menor contribuição para o esgotamento de recursos energéticos não renováveis.

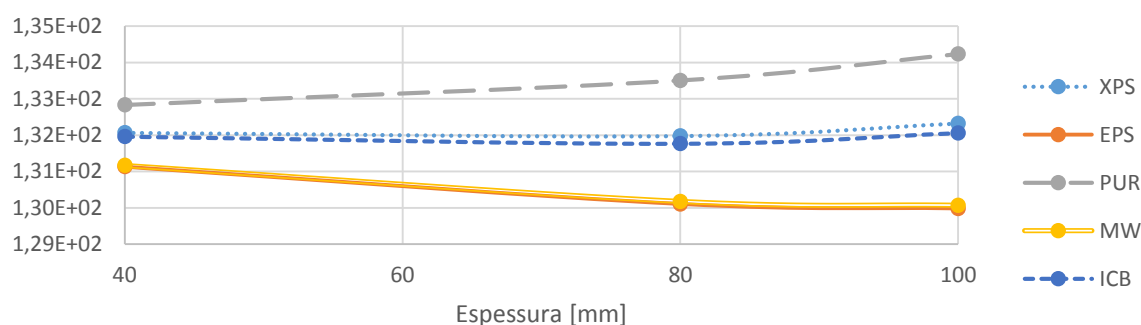


Fig. 6.28 - IACV para edifício habitacional: Utilização de Energia Primária Não Renovável (ENR) [MJ eq]

A utilização de energia renovável em detrimento da não renovável, expresso pelo indicador ER, revela um impacto ambiental positivo. Sendo assim, deverá ser dada predileção à seleção de ICB relativamente aos restantes materiais de isolamento.

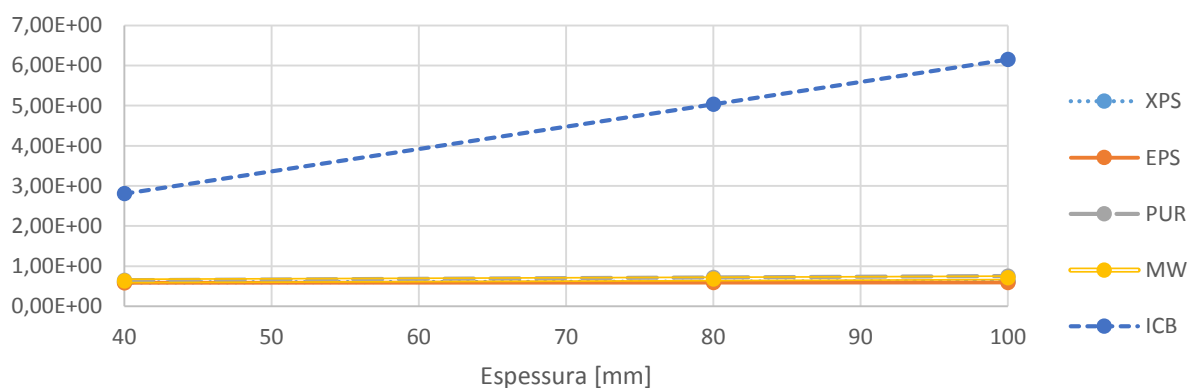


Fig. 6.29 - ICBV para edifício habitacional: Utilização de Energia Primária Renovável (ER) [MJ eq]

6.3.7.3. Conclusões e Recomendações

A interpretação dos resultados obtidos para os indicadores de impacto ambiental através da análise de ciclo de vida permite estabelecer algumas conclusões e recomendações gerais sobre a seleção de materiais e espessuras de isolamento térmico para as soluções de reabilitação energética de coberturas da habitação unifamiliar em estudo.

A seleção do material de isolamento que provoca emissões atmosféricas e impacto ambientais menos prejudiciais é muito dependente do indicador em análise. Porém, através de uma observação generalizada dos indicadores, o isolamento térmico em poliuretano apresenta impactos negativos mais acentuados em relação às restantes opções, não sendo este recomendado como solução de isolamento para a intervenção.

Nos indicadores onde o poliuretano não exibe valores de emissões mais elevadas, o poliestireno extrudido salienta-se como o mais desvantajoso, e com grande relevância no indicador referente às emissões que provocam destruição da camada de ozono estratosférico. Como tal, este é igualmente contraindicado como solução de isolamento térmico.

O material de isolamento que aparenta recorrentemente menores quantidades de emissões é o poliestireno expandido, havendo apenas relevância negativa na formação de ozono troposférico com impactes locais e com pouca duração.

A escolha de material de isolamento poderá também recair sobre o aglomerado de cortiça expandida quando existem condições favoráveis para utilização de energia renovável em prol de energia não renovável.

Relativamente à espessura do material de isolamento, e prevendo a utilização de poliestireno expandido segundo a recomendação tecida anteriormente, não são unânimes os resultados observados em todos os indicadores. Porém, são mais significativos os resultados onde a maior espessura de isolamento gera menores quantidades de emissões atmosféricas durante o ciclo de vida do edifício. Recomenda-se, então, a utilização da maior espessura de isolamento térmico, isto considerando apenas os impactes ambientais do ciclo de vida do edifício, sem realizar qualquer análise técnico-económica para a intervenção de reabilitação.

7

CONCLUSÃO

7.1. CONCLUSÃO FINAL

As atividades antropológicas associadas ao aumento exponencial da população mundial revelam um conjunto de alterações no planeta, em grande parte desfavoráveis à sustentabilidade, devido à crescente e desmedida exploração dos seus recursos naturais para satisfazer as exigências das necessidades humanas.

A exploração exagerada de recursos naturais e a consequente produção excessiva de emissões atmosféricas e resíduos revelam deficiências na capacidade de regeneração ambiental, comprometendo a satisfação das necessidades futuras, com resultado paradoxal ao desenvolvimento sustentável.

O aumento global da temperatura assume-se como um dos principais resultados da produção excessiva de emissões atmosféricas, nomeadamente de GEE como é o caso do CO₂. Estas emissões provêm em grande parte da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia, cada vez mais vulgarizada e utilizada pela sociedade, para satisfação das suas necessidades e para proveito económico. O desenvolvimento sustentável apoia a premissa que os ecossistemas mantêm as sociedades que geram economia, focando sempre a base ambiental que está na evolução de todas as outras atividades.

De entre as atividades humanas, a indústria da construção tem particular importância nos três pilares do desenvolvimento sustentável (ambiente, sociedade e economia), onde é requerida funcionalidade dos seus produtos, com menor impacto ambiental possível mas promovendo benefícios económicos, sociais e culturais. Mostra-se também como um dos principais setores industriais no consumo de recursos energéticos e consequentes emissões atmosféricas causadoras de impactos adversos, tanto na produção de materiais e componentes através de energia incorporada, como durante a fase de exploração por energia operacional. A construção sustentável prevê o aumento da eficiência energética em todo o ciclo de vida das edificações.

A energia incorporada que envolve todo o ciclo de vida dos materiais, e em especial a PEC e os processos necessários à produção de materiais de construção, representam um grande esforço ambiental de recursos minerais e emissões atmosféricas necessários à produção da energia utilizada nos métodos de produção. Mas, considerando o horizonte temporal de cada uma das fases do ciclo de vida das construções, a necessidade de produção de materiais é esporádica e breve, representando apenas uma parcela diminuta em comparação com a energia utilizada durante a fase de utilização.

Um dos esforços para a limitação das necessidades energéticas durante a operação de edifícios é a implementação de normas técnicas e regulamentares como é o caso do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) para edifícios novos e existentes, disposto no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, em vigor em Portugal.

De entre as medidas adotadas para a redução dos consumos energéticos para conforto térmico e climatização, essencialmente durante a estação de aquecimento mas também de arrefecimento, encontra-se a utilização de materiais com elevada resistência térmica na envolvente dos edifícios, nomeadamente isolantes térmicos. Estes são produtos com elevada energia incorporada e níveis de toxicidade significativos inerentes ao seu processo de fabrico.

As exigências crescentes a nível da seleção e especificações técnicas de materiais diminuem a energia consumida na fase operacional, através do aumento da eficiência energética. Contudo, devido à sua energia incorporada e elevados níveis toxicológicos, a adoção de isolamentos térmicos deve ser ponderada considerando os seus efeitos em todo o ciclo de vida do edifício.

Ao estudar adequadamente os materiais, produtos, processos construtivos e recursos integrados no ciclo de vida de um edifício, é possível o melhoramento do seu desempenho ambiental. É esse o propósito da Avaliação do Ciclo de Vida, com a avaliação do desempenho de soluções construtivas através da compilação e avaliação dos fluxos de produtos, materiais ou energia que entra num processo unitário. A metodologia da ACV é uma técnica de gestão ambiental preconizada pela ISO 14040 e ISO 14044, nas quais são descritos os requisitos e procedimentos para a sua realização.

A ACV de materiais de construção, é adaptada às fases do ciclo de vida do produto, podendo ser realizada numa perspetiva *Cradle-to-Gate* considerando todos os processos desde a extração de matérias-primas até à obtenção do produto à porta da fábrica, *Cradle-to-Grave* que considera todo o ciclo de vida do produto, ou ainda *Gate-to-Gate* onde o ciclo de vida inclui os processos de reciclagem.

A aplicação generalizada da ACV à indústria da construção, mais especificamente a materiais de construção, requer a exaustiva e complexa compilação de informações relativas a processos industriais, utilização de energia e produção de resíduos e emissões decorrentes de todo o ciclo de vida, ou seja, das entradas e saídas para um sistema de produto. As DAP fornecem as informações necessárias sobre o desempenho ambiental de produtos, mas não sendo de carácter obrigatório, não são documentos produzidos para a generalidade dos materiais de construção.

Existem ferramentas informáticas que auxiliam a criação de ICV, e cuja seleção e utilização depende do objetivo e escala da análise, bem como da fase do ciclo de vida. Devido à disponibilidade comercial restrita destas ferramentas e à insuficiência de acesso a DAP portuguesas, esta dissertação aplica bases de dados de materiais publicadas por Mateus [18] e Bragança [2] que expressam os impactes ambientais segundo uma análise *Cradle-to-Gate*. A metodologia proposta por Mateus [18] e publicada por Bragança [2] permite quantificar os impactes ambientais de ciclo de vida de um edifício através do somatório do impacto ambiental de cada elemento construtivo, segundo uma abordagem *bottom-up*. Considera tanto os impactes ambientais incorporados como os operacionais.

O edificado português revela um índice de envelhecimento pouco acentuado, mas a maioria do património não cumpre com nenhuma disposição regulamentar no âmbito da térmica e recursos energéticos. Aliando essas premissas a dados estatísticos que indicam a crescente carência de reparação de edifícios, a reabilitação mostra potencialidades na redução do impacto ambiental decorrente do baixo desempenho energético dos edifícios. Como tal, esta dissertação assenta no estudo específico da reabilitação energética de coberturas, sendo este um dos primeiros componentes a ser intervencionados quando se pretende uma melhoria do desempenho energético de edifícios.

7.2. CONCLUSÕES FINAIS SOBRE A ACV NA REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

Esta dissertação apresenta uma reflexão crítica da aplicação da metodologia de ACV em soluções de reabilitação energética de coberturas, nomeadamente na diferenciação entre soluções construtivas e materiais de isolamento térmico, numa perspetiva de impacte ambiental. A análise generalista foca apenas os parâmetros das categorias de impacte ambiental mais correntes, numa perspetiva *Cradle-to-Gate* e de energia incorporada de materiais necessários à reabilitação de coberturas. As soluções estudadas concentram-se nas habitualmente adotadas no património edificado português.

Em coberturas inclinadas com desvão habitável, a quantificação dos impactes ambientais é dependente do tipo de revestimento exterior e da percentagem de substituição do mesmo. A solução de reabilitação energética que permite maiores vantagens no desempenho energético dos edifícios, com consequente redução do consumo de energia e emissões atmosféricas decorrentes da fase de operação dos mesmos, é feita através da colocação de isolamento térmico entre o revestimento exterior e o seu suporte, garantindo uma forte ventilação.

Por sua vez, em coberturas com o desvão não habitável, o isolamento é posicionado relativamente à laje de esteira, que separa o espaço habitável e o desvão. Entre as soluções estudadas, a colocação do revestimento sob a estrutura resistente é a que proporciona menos desvantagens ambientais na intervenção de reabilitação através da minimização da energia incorporada nos materiais. No entanto, a energia operacional despendida nas necessidades nominais de climatização do ar seria superior, uma vez que não ocorre aproveitamento da inércia térmica da camada resistente.

A análise de resultados dos indicadores de impacte ambiental de energia incorporada para coberturas planas, revelam que a posição mais vantajosa envolve a colocação do isolamento térmico sob a estrutura resistente. Mas, quando é considerado o consumo energético da fase operacional, esta opção não permite a contribuição da laje de esteira para a inércia térmica, sendo necessário um estudo adicional que envolva todo o ciclo de vida do edifício.

Contrariamente, posicionar o isolamento térmico sobre a estrutura resistente em coberturas planas, permite uma proteção desta camada contra as solicitações por dilatação térmica, para além das vantagens já mencionadas sobre a contribuição da inércia térmica nas necessidades energéticas operacionais. Para esta opção, o isolamento térmico pode ser posicionado em relação à camada de impermeabilização. A cobertura invertida revela melhores desempenhos ambientais, permitindo igualmente a proteção da impermeabilização contra dilatação térmica.

As coberturas jardim são apresentadas habitualmente como uma solução arquitetónica sustentável devido à integração de vegetação. No entanto, o reforço dimensional e necessidade de maiores quantidades de materiais para fazer face as solicitações adicionais provocadas pela camada vegetal, implicam quantidades de emissões atmosféricas significativamente maiores. Na ACV realizada, não foi possível esclarecer para este tipo de cobertura qual o posicionamento do isolamento térmico em relação à estrutura resistente mais vantajoso numa análise *Cradle-to-Gate*. Porém, o impacte ambiental em fase operacional conduziria a desvantagens com a adoção de isolamento pelo interior.

Os materiais de isolamento térmico que reúnem menores impactes ambientais segundo as categorias estudadas na análise *Cradle-to-Gate* nas intervenções analisadas, são o EPS e o MW. A priori, observando os impactes da energia incorporada na produção de 1kg de EPS, esta conclusão não seria espectral. Porém, o EPS é o material de isolamento térmico estudado que possui massa específica menor, garantindo o mesmo desempenho energético das soluções construtivas com recurso a espessuras inferiores e a menores quantidades de material.

A ACV é fundamental para a seleção crítica de materiais inseridos em soluções construtivas complexas, analisando o seu contributo tanto para o desempenho energético, como para o ambiental.

Quando a ACV de soluções de reabilitação energética de cobertura é inserida no desempenho energético da totalidade de um edifício habitacional, é possível a realização de uma análise da influência da energia incorporada, bem como da energia operacional da totalidade do edifício nos impactes ambientais. Os resultados obtidos para os indicadores de impacte ambiental através da ACV permitem estabelecer algumas considerações gerais sobre a implicação da seleção de materiais e espessuras de isolamento térmico para as soluções de reabilitação energética de coberturas das habitações unifamiliares em estudo.

Na totalidade dos impactes ambientais de um edifício, a energia operacional representa a parcela mais significativa. A redução desta provém do aumento do desempenho energético do edifício realizada, em parte, com o aumento das espessuras de isolamento térmico. Como resultado do incremento desmedido de espessuras de isolamento térmico, os impactes incorporados passam a ter maior peso nos impactes totais.

Algumas categorias de impacte ambiental mostram que, elevadas espessuras de isolamento térmico nem sempre reduzem o valor total de impactes ambientais do edifício. A espessura de isolamento térmico ótima numa perspetiva de impacte ambiental, pondera os impactes incorporados de produção de materiais, e a influência dos mesmos na energia operacional e na melhoria do desempenho energético do edifício.

7.3. TRABALHOS FUTUROS

A ACV revela-se como uma metodologia com grande potencial de aplicação para qualquer produto, sejam materiais, bens, ou serviços. Caracteriza-se também pela sua aplicabilidade a produtos mais elementares até a componentes mais complexos. A aplicabilidade desta metodologia, por ser tão ampla, tem pouca especificidade na sua aplicação a um produto mais específico. A criação de normas regulamentares especificadas para determinadas indústrias, facilitaria a padronização da aplicação metodológica.

Relativamente à sua aplicação na indústria da construção, dado os processos complexos envolvidos num projeto, com fluxos de entrada de dados muito variados e em grande número, a criação de soluções padronizadas prontas a aplicar facilitaria a implementação desta metodologia.

Em relação à fiabilidade dos dados de entrada disponíveis para a realidade portuguesa, a deficiente publicação de DAP ou outros documentos por produtores portugueses dificulta a criação de bases de dados e de ICV. Deverá ser estimulada a certificação ambiental de produtos, com indicação dos parâmetros referentes a indicadores ambientais padronizados. As certificações devem ser realizadas obrigatoriamente por organismos independentes, evitando a adulteração de informações prestadas pelos produtores que comprometam a fiabilidade dos documentos.

Para além das questões ambientais abordadas nesta dissertação, uma análise técnico-económica é decisiva para concretização de soluções de reabilitação energética de coberturas. Um estudo que envolvesse uma avaliação dos custos do ciclo de vida (CCV) seria pertinente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. P. Torgal e S. Jalali, *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*, Braga: TecMinho, 2010.
- [2] L. Bragança e R. Mateus, *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios: Impacte Ambiental de Soluções Construtivas*, Portugal: Publindústria, 2011.
- [3] “*Living Planet Report 2014*,” World Wide Fund for Nature, Suíça, 2014.
- [4] Agência Portuguesa do Ambiente; *Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas, Avaliação do Cumprimento do Protocolo de Quioto*, Amadora: Agência Portuguesa do Ambiente, 2012.
- [5] A. Y. Galashev e O. R. Rakhmanova, “*Thermal efficiency of the principal greenhouse gases*,” *Chinese Physics B*, Vols. 24, No. 1, 2015.
- [6] B. M. A. Duarte, *Preocupações de Sustentabilidade e Especificações Técnicas de Obras*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [7] Á. M. V. Fernandes, *Métodos de Avaliação da Sustentabilidade das Construções*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [8] M. D. Pinheiro, *Ambiente e Construção Sustentável*, Amadora: Instituto do Ambiente, 2006.
- [9] “*Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada*,” Centro Regional de Informação das Nações Unidas , 10 Julho 2014. [Online]. Available: <http://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050#maincontent>. [Acedido em Abril 2015].
- [10] D. o. E. a. S. Affairs, “*Country Profiles*,” United Nations, [Online]. Available: <http://esa.un.org/unpd/wup/Country-Profiles/>. [Acedido em Abril 2015].
- [11] Intergovernmental Panel on Climate Change, “*Fifth Assessment Report (AR5)*,” 2015. [Online]. Available: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>. [Acedido em Junho 2015].
- [12] D. P. F. R. d. Castro, *Sustentabilidade na Reabilitação*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [13] A. P. d. Ambiente, “*Acordo de Copenhaga*,” [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=119&sub3ref=502>. [Acedido em Março 2015].
- [14] “*Resolução do Conselho de Ministros n.º 109/2007*,” Diário da República, 1.ª série — N.º 159 — 20 de Agosto de 2007, pp. 5404-5478.
- [15] “*Lei n.º 19/2014 de 14 de Abril*,” Diário da República, 1.ª série — N.º 73 — 14 de abril de 2014 , pp. 2400-2404.
- [16] “*Portugal 2020*,” [Online]. Available: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020/o-que-e-o-portugal2020>. [Acedido em Março 2015].

- [17] M. P. Amado e B. Ferreira, “*Construção do Edifício Sustentável - Contribuição para um Processo Operativo*,” em Congresso de Inovação na Construção Sustentável, Anadia, 2010.
- [18] R. Mateus, *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*, Tese de Doutoramento : Universidade do Minho, 2009.
- [19] R. Mateus e L. Bragança, *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*, Porto: Edições Ecopsy, 2006.
- [20] R. Mateus, *Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção*, Dissertação de Mestrado: Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2004.
- [21] M. K. Dixit, J. L. Fernández-Solís, S. Lavy e C. H. Culp, “*Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper*,” Elsevier, vol. 16, nº Renewable and Sustainable Energy Reviews, p. 3730–3743, 2012.
- [22] B. Berge, C. Butters e F. Henley, *The Ecology of Building Materials (Second Edition)*, Oxford: Elsevier, 2009.
- [23] A. Z.-Z. Szalay, “*What is missing from the concept of the new European Building Directive?*,” Building and Environment, vol. 42, p. 1761–1769, 2007.
- [24] F. P. Torgal e S. Jalali, “*Toxicidade de materiais de construção: uma questão incontornável na construção sustentável*,” Ambiente Construído, vol. 10, nº 3, pp. 41-53, Julho/Setembro 2010.
- [25] Mistérios da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, “*Portaria n.º 209/2004 de 3 de Março*,” Diário da República — I Série-B, nº Lista Europeia de Resíduos, pp. 1188-1206, 2004.
- [26] Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, “*Decreto-Lei n.º 73/2011*,” Diário da República, 1.ª série — N.º 116 — 17 de Junho de 2011, pp. 3251-3300.
- [27] Agência Portuguesa do Ambiente, “*Resíduos de Construção e Demolição*,” 2015. [Online]. Available: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=197&sub3ref=283>. [Acedido em Abril 2015].
- [28] Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, “*Portaria n.º 417/2008 de 11 de Junho*,” Diário da República, 1.ª série — N.º 111 — 11 de Junho de 2008 , nº Regime de transporte de RCD, pp. 3403-3405, 2008.
- [29] N. F. G. Teodoro, *Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais*, Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- [30] M. R. P. Santos, *Metodologias de Previsão da Vida Útil de Materiais, Sistemas ou Componentes da Construção. Revisão Bibliográfica*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [31] International Organization for Standardization, *ISO 15686-1:2011 - Buildings and constructed assets - service life planning - Part 1: General principles and framework*, Genebra, 2011.

- [32] P. M. d. S. Q. Marinho, *Avaliação da Durabilidade de Soluções de Reabilitação*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [33] J. M. M. R. Marques, *Durabilidade de Revestimentos de Coberturas Inclinadas. Telhas Cerâmicas. Estimativa da Vida Útil.*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [34] American Society for Testing Material, *ASTM E632 82: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials*, Filadelfia, 1991.
- [35] NP EN 13306:2007, *Terminologia da Manutenção*, Caparica : Instituto Português da Qualidade, 2007.
- [36] M. J. d. S. Matos, *Durabilidade como Critério de Projeto. O Método Factorial no Contexto Português*, Dissertação para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Reabilitação do Património Edificado : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [37] *NP EN ISO 14044:2010*, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2010.
- [38] *NP EN ISO 14040:2008*, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2008.
- [39] A. F. A. Rashid e S. Yusoff, “A Review of Life Cycle Assessment Method for Building Industry,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 45, pp. 244-248, 2015.
- [40] J. I. d. S. Maia, *Avaliação do Ciclo de Vida de Soluções de Reabilitação Energética de Fachadas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [41] H. Lehtinen, A. Saarentaus, J. Rouhiainen, M. Pitts e A. Azapagic, “A Review of LCA Methods and Tools and their Suitability for SMEs,” *BIOCHEM*, 2011.
- [42] L. F. Cabeza, L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez e A. Castell, “Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, p. 394 – 416, 2013.
- [43] M. N. L. V. Perdigão, *Análise de Ciclo de Vida de duas soluções de ETICS*, Dissertação de Mestrado: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa , 2013.
- [44] D. Librelotto e S. Jalali, *Aplicação de uma Ferramenta de Análise do Ciclo de Vida em Edificações Residenciais - Estudos de Caso*, Guimarães: Universidade do Minho, 2008.
- [45] T. Susca, “Enhancement of life cycle assessment (LCA) methodology to include the effect of surface albedo on climate change: Comparing black and white roofs,” *Environmental Pollution*, vol. 163, pp. 48 - 54, 2011.
- [46] J. F. A. Ribeiro, *Sustentabilidade dos Produtos de Construção: Aplicação da Análise do Ciclo de Vida a um Peril de Alumínio*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2012.
- [47] D. M. d. Souza, M. Lafontaine, F. Charron-Doucet, X. Bengoa, B. Chappert, F. Duarte e L. Lima, “Comparative Life Cycle Assessment of ceramic versus concrete roof tiles in the Brazilian context,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 89, pp. 165 - 173, 2014.

- [48] H. Islam, M. Jollands e S. Setunge, “*Life cycle assessment and life cycle cost implication of residential*,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 42, p. 129–140, 2014.
- [49] S. B. Chenani, S. Lehvavirta e T. Hakkinen, “*Life cycle assessment of layers of green roofs*,” Journal of Cleaner Production, vol. 90, pp. 153 - 162, 2014.
- [50] C. Rodrigues e F. Freire, “*Integrated Life-Cycle Assessment and Thermal Dynamic Simulation of Alternative Scenarios for the Roof Retrofit of a House*,” Building and Environment, vol. 81, pp. 204 - 215, 2014.
- [51] L. Napolano, C. Menna, D. Asprone, A. Prota e G. Manfredi, “*Life Cycle Environmental Impact of Different Replacement Options for a Typical Old Flat Roof*,” The International Journal of Life Cycle Assessment, n.º Life Cycle Sustainability Assessment, 2015.
- [52] “*Your source for LCA data sets.*,” GreenDelta, 2015. [Online]. Available: <https://nexus.openlca.org/databases>. [Acedido em Maio 2015].
- [53] NP EN ISO 14024:2006, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2006.
- [54] NP EN ISO 14020:2005, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2005.
- [55] NP EN ISO 14021:2014, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2014.
- [56] NP ISO 14025: 2009, Caparica : Instituto Português da Qualidade, 2009.
- [57] C. K. Chau, T. M. Leung e W. Y. Ng, “*A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings*,” Elsevier, vol. 143, n.º Applied Energy, pp. 395-413, 2015.
- [58] A. P. M. Martins, *A Sustentabilidade na Reabilitação do Edificado*, Dissertação de Mestrado : Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Fernando Pessoa , 2014.
- [59] “*Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto*,” Diário da República, 1.ª série — N.º 159 — 20 de agosto de 2013, pp. 4988-5005.
- [60] INE, I.P., *Estatísticas da Construção e Habitação 2013*, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2014.
- [61] INE, I.P., *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução 2001-2011*, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.
- [62] INE, I.P., *Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal*, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2012, pp. 65 - 78.
- [63] J. P. V. O. T. Sabarigo, “*Contributo para a eficiência energética em obras de reabilitação de edifícios*,” Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.
- [64] V. M. Ferreira, *Inovação na Construção Sustentável*, Tamengos: Plataforma para a Construção Sustentável, 2010.
- [65] V. Abrantes e R. Calejo, *Manutenção de Condomínios*, Porto: Gequaltec, 2013.
- [66] INE, *Estatísticas do Ambiente 2013*, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, 2014.

- [67] Base de Dados Portugal Contemporâneo, “*PORDATA*,” Fundação Francisco Manuel dos Santos, 13 1 2015. [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal/Ambiente+de+Consulta/Gr%C3%A1fico>. [Acedido em Junho 2015].
- [68] “*Águas e Resíduos de Portimão*,” [Online]. Available: http://www.emarp.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=391#PorqueDiferencasConsumosNaoDomesticos. [Acedido em Junho 2015].
- [69] J. Mascarenhas, *Sistemas de Construção IV*, Lisboa: Livros Horizonte, 2003.
- [70] P. T. d. Rocha, *Anomalias em Coberturas de Terraço e Inclínadas*, Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [71] Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, “*Regulamento (UE) n.º 305/2011 de 9 de Março de 2011*,” Jornal Oficial da União Europeia, nº condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, 2011.
- [72] J. G. Lopes, *Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994.
- [73] A. P. C. P. d. S. F. Lages, “*Coberturas de Edifícios Aplicação de um Sistema Pericial na Avaliação do Custo e Qualidade*,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1994.
- [74] N. F. d. S. Garcez, *Sistemas de Inspeção e Diagnóstico de Revestimentos Exteriores de Coberturas Inclínadas*, Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa , 2009.
- [75] L. M. C. Matias, *Avaliação do Desempenho Térmico de Proteções Refletantes Aplicadas em Coberturas Inclínadas*, Dissertação de Mestrado, Lisboa: LNEC, 2002.
- [76] J. Mascarenhas, *Sistemas de Construção VI*, Lisboa: Livros Horizonte, 2006.
- [77] A. C. P. d. B. G. d. Santos, *Reabilitação Energética de Coberturas de Edifícios Antigos - Avaliação de Soluções do Ponto de Vista Técnico-Económico*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [78] NP EN 14509 2013, *Painéis Sanduíche Autoportantes, Isolantes, com Dupla Face Metálica - Produtos Manufacturados - Especificações*, Caparica : Instituto Português da Qualidade, 2013.
- [79] J. V. Paiva, J. Aguiar e A. Pinho, *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, 1º ed., vol. 2, I. N. d. Habitação, Ed., Lisboa: Laboratória Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [80] T. M. d. O. Dias, *Durabilidade de Materiais Utilizados nos Sistemas de Impermeabilização de Coberturas Planas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [81] F. L. A. Fagundes, *Atividades de Controlo Técnico de Impermeabilizações em Coberturas Planas*, Lisboa: Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2013.
- [82] R. J. Gomes, *Coberturas em Terraço*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1968.

- [83] T. F. Raposo, *Durabilidade na Construção. Estimativa da Vida Útil de Revestimentos de Coberturas Planas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [84] I. Anselmo, C. Nascimento e E. Maldonado, *Reabilitação Energética da Envolvente de Edifícios Residenciais*, IP-3E, Ed., Lisboa: DGGE, 2004.
- [85] “Decreto-Lei n.º 53/2014 de 8 de abril,” Diário da República, 1.ª série — N.º 69 — 8 de abril de 2014, pp. 2337-2340.
- [86] “Despacho n.º 15793-J/2013 de 3 de dezembro,” Diário da República, 2.ª série, vol. 234, pp. 35088 (55) - 35088 (57), 2013.
- [87] J. L. B. B. Castro, *Quantificação dos Coeficientes de Transmissão Térmica Lineares - Pontes Térmicas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [88] V. P. d. Freitas, “Inércia Térmica,” em *Térmica de Edifícios*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [89] V. P. Freitas e P. S. Pinto, *Permeabilidade do Vapor de Materiais de Construção - Condensações Internas*, Porto: Laboratório de Física das Construções, 1998.
- [90] V. P. d. Freitas, *Recomendações Práticas para a Implementação de Sistemas de Ventilação Mistos em Edifícios de Habitação*, Apontamentos da Unidade Curricular de Patologias e Reabilitação de Edifícios: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [91] NP 1037-1/2002, Lisboa: Instituto Português da Qualidade .
- [92] C. A. P. d. Santos e L. Matias, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [93] V. Freitas e M. Pinto, *Metodologia para a Definição de isolantes Térmicos*, Porto: Laboratório de Física das Construções, 1997.
- [94] Ministério da Economia e do Emprego, “Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto,” Diário da República, 1.º série, vol. 159, pp. 4988-5005, 2013.
- [95] “Despacho n.º 15793-K/2013,” Diário da República, 2.ª série, vol. 234, pp. 58-87, 3 Dezembro 2013.
- [96] P. M. L. d. Barros, *Processos de Manutenção Técnica de Edifícios - Plano de Manutenção de Coberturas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [97] “Welcome to The Open Source Initiative,” Open Source Initiative, 2015. [Online]. Available: <http://opensource.org/>. [Acedido em Maio 2015].
- [98] Direção Geral de Energia e Geologia, *Energia em Portugal*, Lisboa: Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2015.
- [99] Associação para a Certificação, “Marcação CE,” CERTIF, 2015. [Online]. Available: <http://www.certif.pt/oquee.asp>.

A

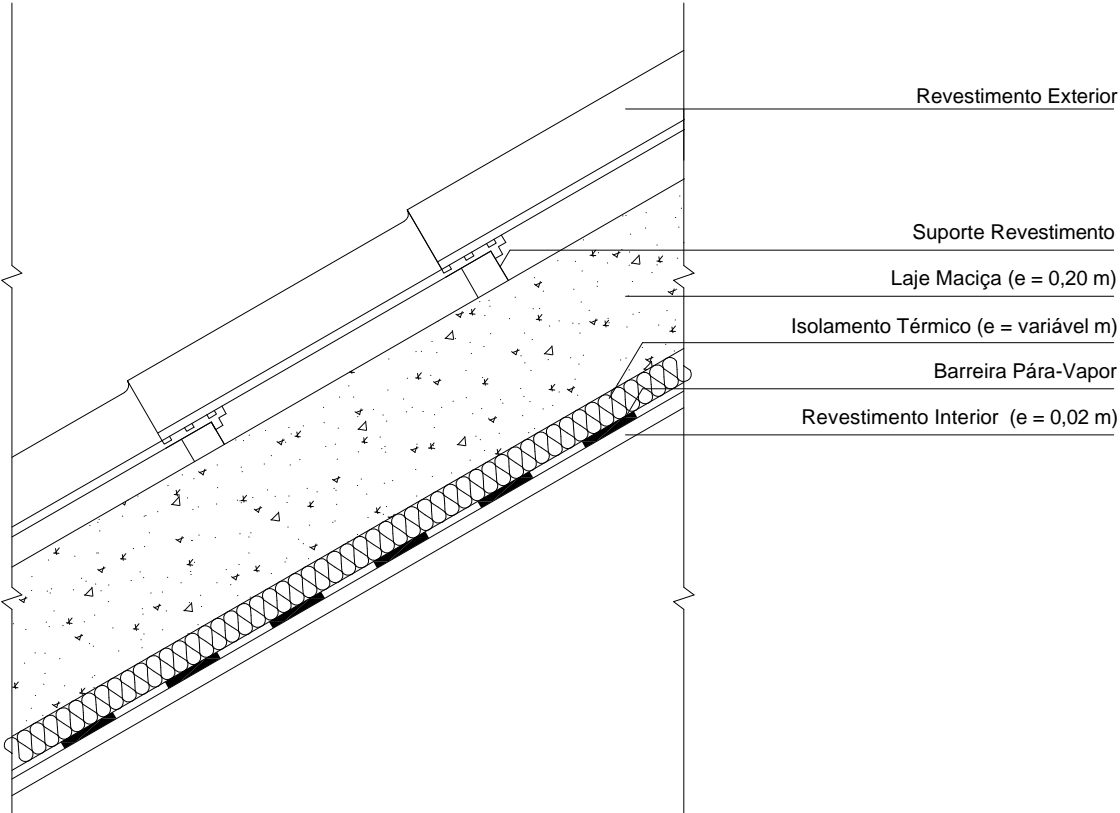
Anexos

A1. PORMENORES CONSTRUTIVOS DA ANÁLISE GERAL DE IMPACTE AMBIENTAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS.....	1-1
A2. BASE DE DADOS DE ACV	2-1
A3. RESULTADOS DA ANÁLISE DE GERAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS	3-1
A3.1. COBERTURAS INCLINADAS	3-1
A3.2. COBERTURAS PLANAS	3-8
A4. RESULTADOS DA ANÁLISE DE UM CASO DE APLICAÇÃO A UM EDIFÍCIO HABITACIONAL.....	4-1
A4.1. PORMENORES CONSTRUTIVOS.....	4-1
A4.2. FOLHA DE CÁLCULO REH	4-3
A4.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA (REH)	4-5
A4.4. RESULTADOS DA ACV	4-6

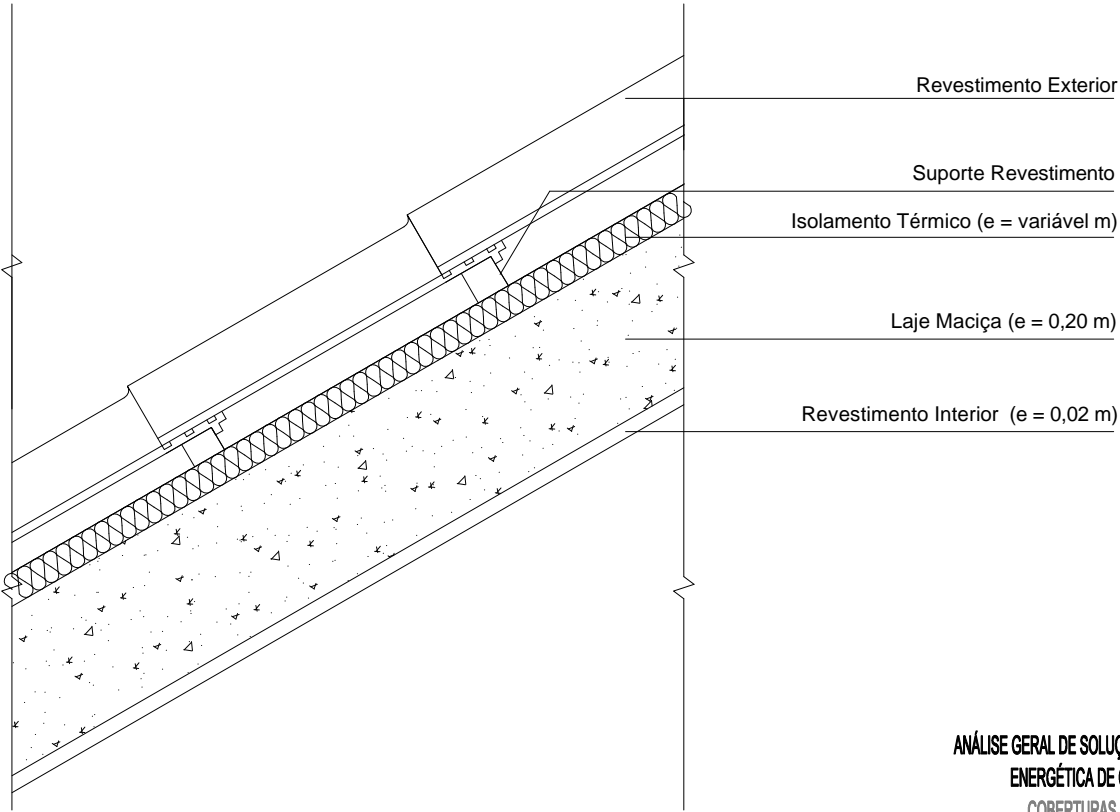
A1

A1. PORMENORES CONSTRUTIVOS DA ANÁLISE GERAL DE IMPACTE AMBIENTAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

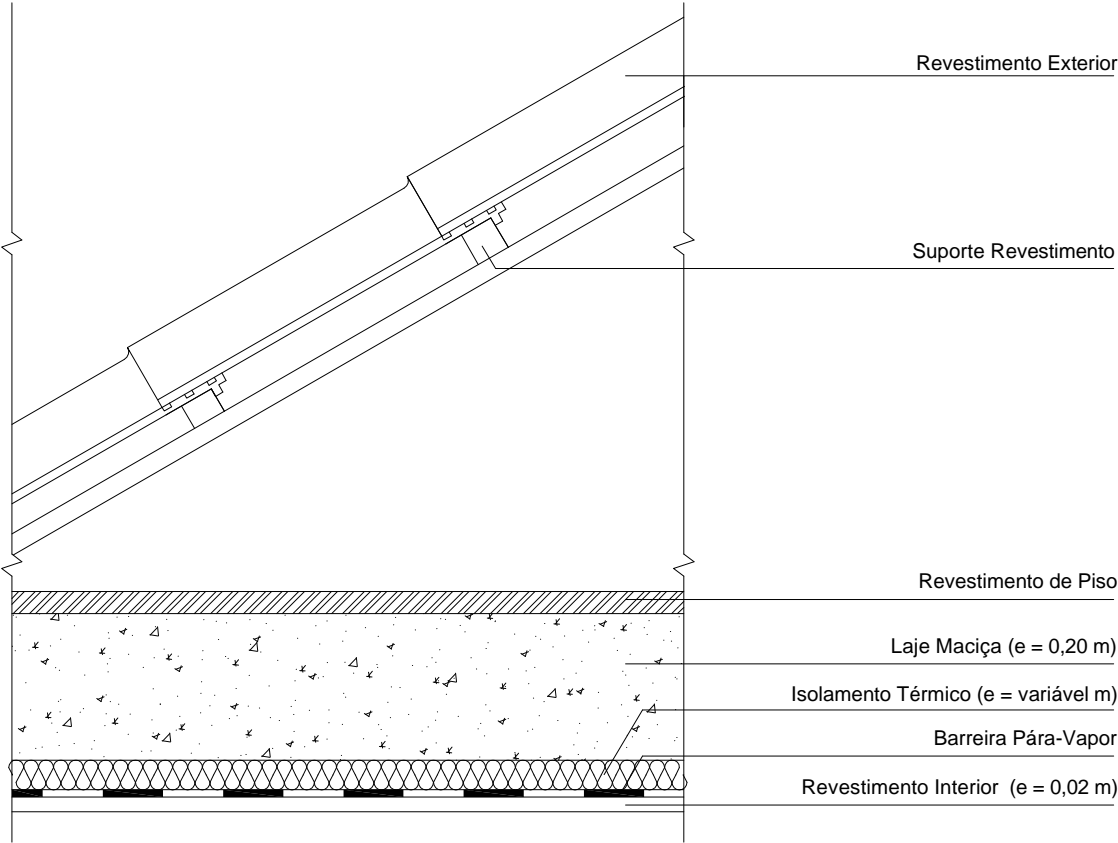
CI 1 - Desvão Habitável, com Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente



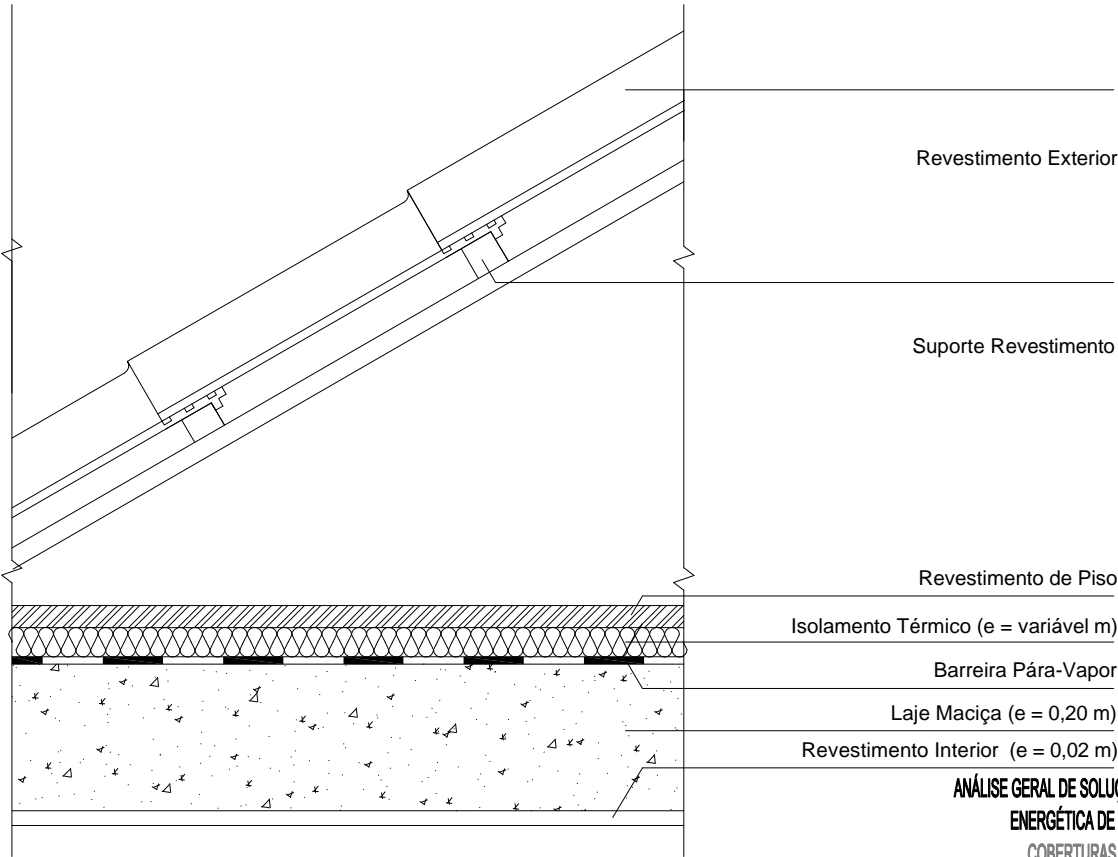
CI 2 - Desvão Habitável, com Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente



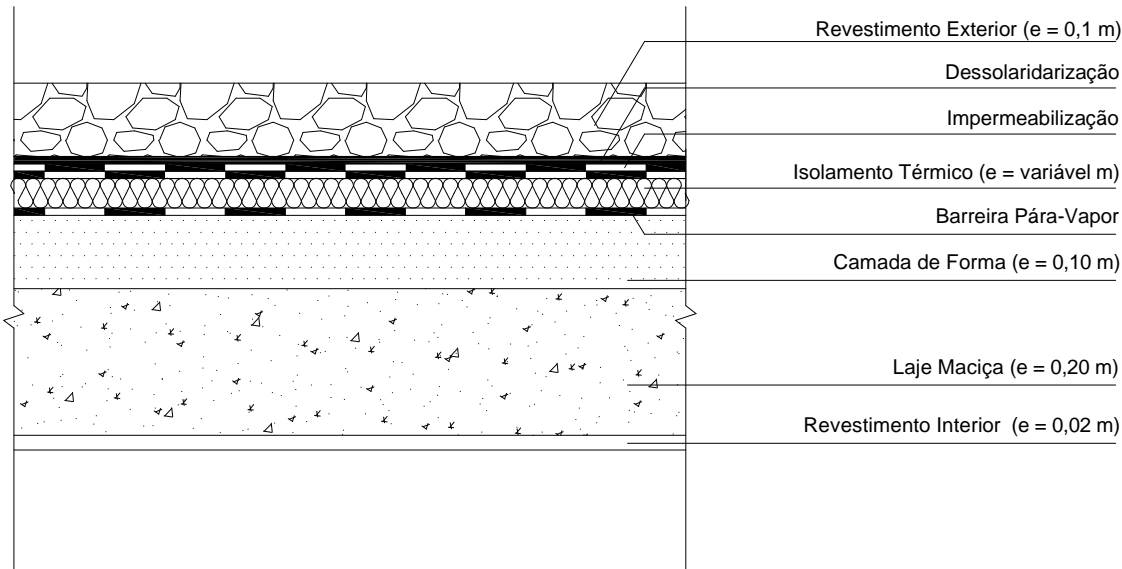
CI 4 - Desvão Não - Habitável, com Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente



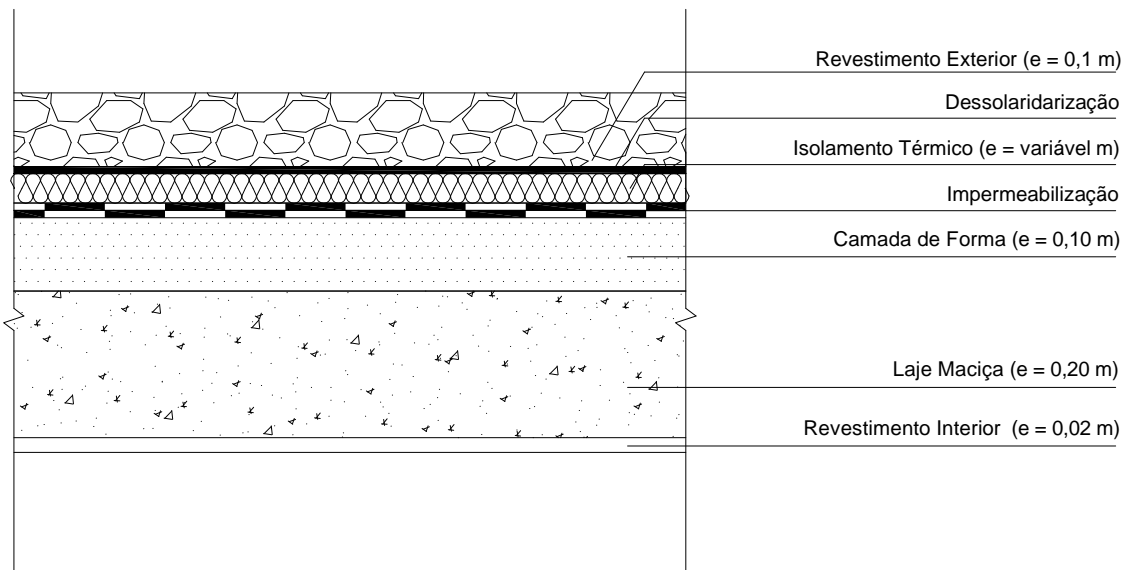
CI 3 - Desvão Não - Habitável, com Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente



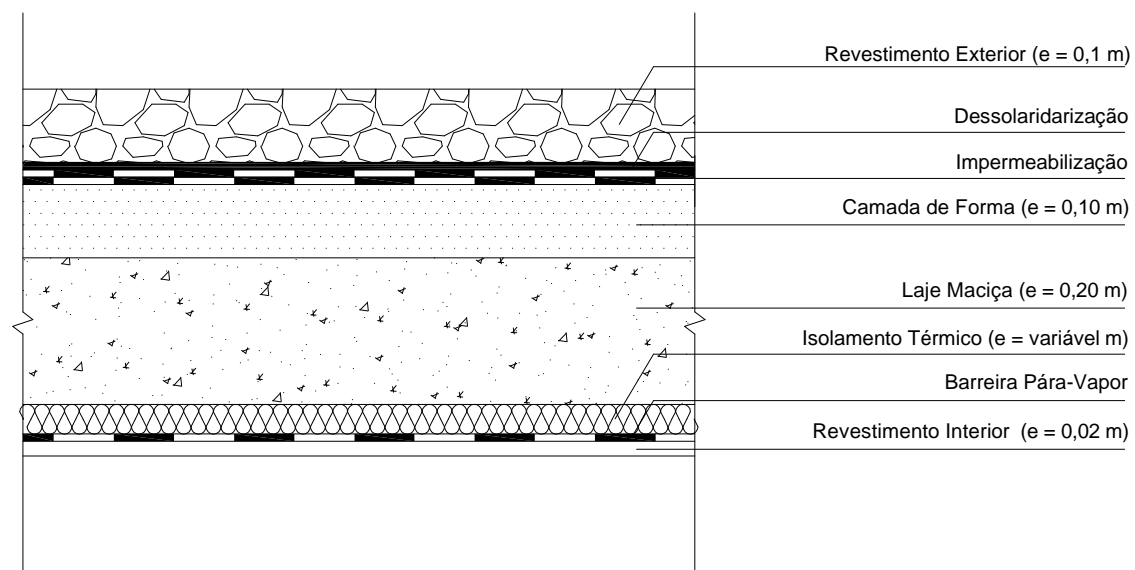
P1 - Cobertura Tradicional



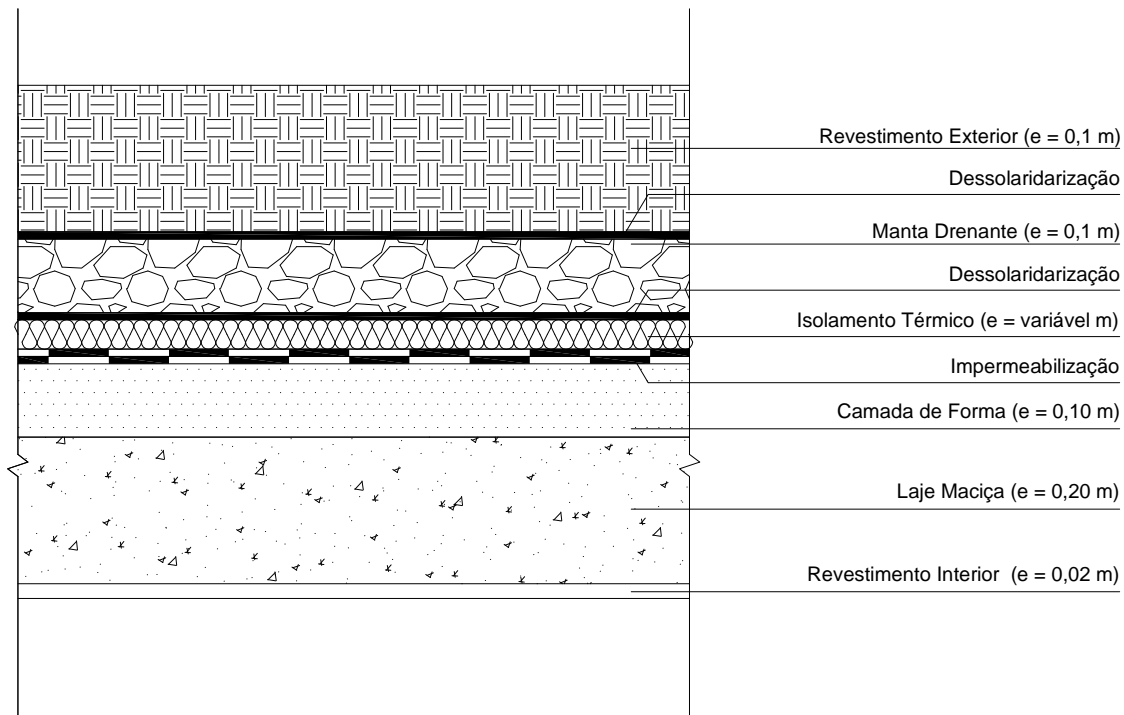
P2 - Cobertura Invertida



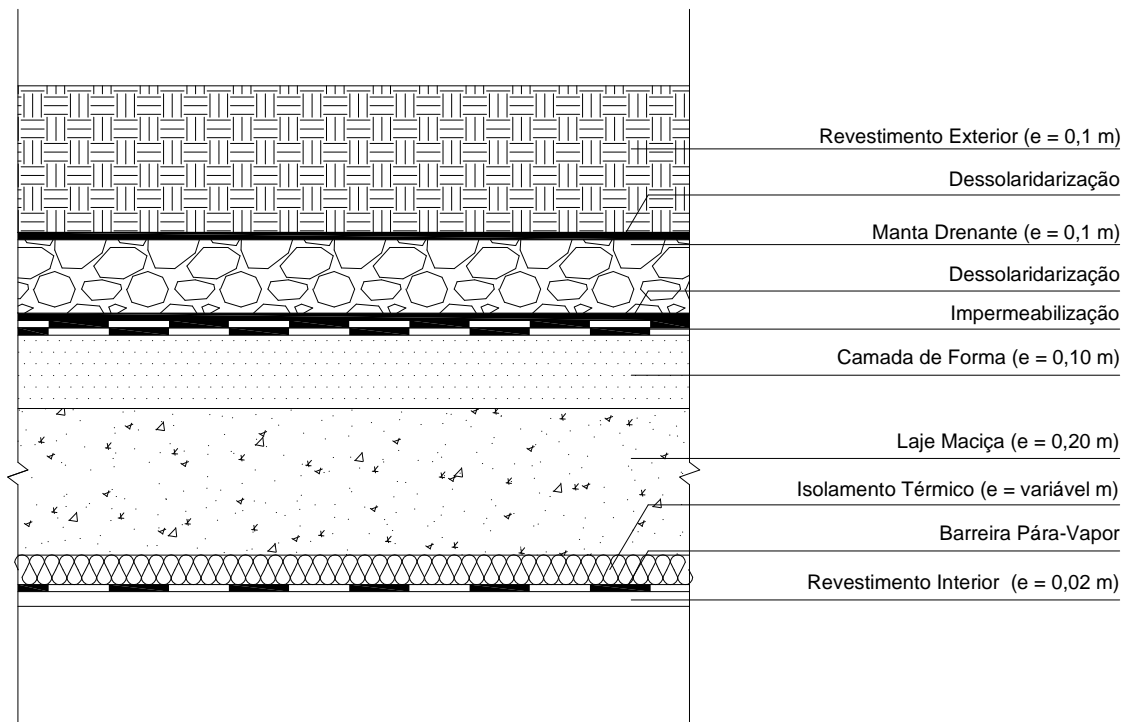
P3 - Cobertura Tradicional ou Invertida, com Isolamento pelo Interior



P4 - Cobertura Jardim, com Isolamento pelo Exterior



P5 - Cobertura Jardim, com Isolamento pelo Interior



A2

BASE DE DADOS DE ACV

Bases de dados dos materiais e equipamentos utilizados, segundo as categorias de impactes ambientais, retiradas de Bragança [2] e Mateus [19].

Materiais	Fase do Ciclo de Vida	Categorias de Impacte Ambiental da ACV					Energia Incorporada		
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB)	Cradle-to-gate	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
Alumínio 50% Reciclado		2,82E-02	4,28E+00	1,84E-06	3,80E-02	2,23E-03	1,12E-03	6,82E+01	0,00E+00
Betonilha		2,38E-04	1,10E-01	3,55E-09	1,79E-04	6,49E-06	2,84E-05	5,56E-01	6,24E-03
Brita		2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
Fibra de Vidro		7,19E-03	1,03E+00	1,30E-07	2,22E-03	1,56E-04	1,87E-04	1,33E+01	0,00E+00
Gesso Cartonado		2,48E-03	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01
Gravilha (Brita)		2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
Lã Mineral (MW)		1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
Madeira Serrada Densa		1,02E-03	-1,20E+00	1,28E-08	8,05E-04	7,29E-05	1,29E-04	1,98E+00	1,58E+01
Membrana PVC flexível		2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
Mosaico Cerâmico		6,30E-03	7,62E-01	8,16E-08	2,93E-03	1,36E-04	2,75E-04	1,19E+01	3,64E-01
Paineis de OBS		2,48E-03	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01
Poliestireno Extrudido (XPS)		4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
Poliestireno Moldado (EPS)		4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
Polipropileno	Expandido	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
Poliuretano Rígido (PUR)		4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
Telha de Cerâmicas		6,58E-03	8,16E-01	8,41E-08	2,90E-03	1,55E-04	2,85E-04	1,46E+01	7,41E-01
Terra Vegetal		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Tipo de Equipamento	Eficiência (ηi)	Categorias de Impacte Ambiental da ACV					Energia Incorporada		
		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Caldeira a Gás sem sistema de condensação de gases	0,87	2,25E-03	2,72E-01	3,58E-08	2,39E-04	2,96E-05	2,29E-05	4,65E+00	1,63E-02

A3

RESULTADOS DA ANÁLISE DE GERAL DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DE COBERTURAS

A3.1. COBERTURAS INCLINADAS

As linhas a sombreado representam os materiais de construção que são intervencionados para cada solução construtiva.

			Indicadores de Impacte Ambiental por 1 kg de material								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura inclinada com desvão habitável	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente	Revestimento Cobertura	Telha de Cerâmicas								
		Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa								
		Laje	Betão Armado								
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Barreira pára-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Revestimento Interior	Argamassa de Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
		Ar									
		Superfície Interior									
	CI 1	Superfície Exterior									
	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	Revestimento Cobertura	Telha de Cerâmicas	6,58E-03	8,16E-01	8,41E-08	2,90E-03	1,55E-04	2,85E-04	1,46E+01	7,41E-01
		Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa	1,02E-03	-1,20E+00	1,28E-08	8,05E-04	7,29E-05	1,29E-04	1,98E+00	1,58E+01
		Laje	Betão Armado								
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Revestimento Interior	Argamassa de Reboco								
		Ar									
		Superfície Interior									
CI 2		Superfície Exterior									

			Indicadores de Impacte Ambiental por 1 kg de material								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura inclinada com desvão não habitável	Isolamento Térmico Sobre Laje de Esteira	Revestimento Cobertura	Telhas Cerâmicas								
		Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa								
		Revestimento de Piso	Paineis de OBS	2,48E-03	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01
		Ar									
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Laje de Esteira	Betão Armado								
		Revestimento Interior	Argamassa de Reboco								
		Ar Ventilado									
		Superfície Interior									
	CI 3	Superfície Exterior									
	Isolamento Térmico Sob Laje de Esteira, pelo Interior	Revestimento Cobertura	Telhas Cerâmicas								
		Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa								
		Revestimento Interior	Paineis de OBS								
		Ar									
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
Laje de Esteira		Betão Armado									
Revestimento Interior		Argamassa de Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01	
Ar Ventilado											
Superfície Interior											
CI 4	Superfície Exterior										

			Indicadores de Impacte Ambiental por Material (m²)								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura inclinada com desvão habitável	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente	Revestimento Cobertura	Telha de Cerâmicas								
		Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa								
		Laje	Betão Armado								
		Isolamento Térmico	XPS	1,80E-01	4,22E+01	7,22E-04	6,73E-02	3,73E-03	5,24E-03	4,07E+02	4,49E+00
			EPS	1,11E-01	9,94E+00	2,64E-07	3,58E-02	1,62E-02	2,98E-03	2,52E+02	2,42E+00
			PUR	2,59E-01	2,56E+01	1,13E-07	1,06E-01	1,23E-02	1,65E-02	6,00E+02	1,54E+01
			MW	1,26E-01	1,75E+01	7,32E-07	9,98E-02	1,11E-02	5,35E-03	2,59E+02	1,17E+01
			ICB	1,97E-01	-1,24E+01	1,75E-06	1,02E-01	8,60E-03	1,24E-02	4,74E+02	5,14E+02
		Barreira pára-vapor	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00
		Revestimento Interior	Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00
		Ar									
		Superfície Interior									
	CI 1	Superfície Exterior									
	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	Revestimento Cobertura	Telha de Cerâmicas	3,68E-01	4,57E+01	4,71E-06	1,62E-01	8,68E-03	1,60E-02	8,18E+02	4,15E+01
		Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa	5,44E-03	-6,40E+00	6,83E-08	4,29E-03	3,89E-04	6,88E-04	1,06E+01	8,43E+01
		Laje	Betão Armado								
		Isolamento Térmico	XPS	1,80E-01	4,22E+01	7,22E-04	6,73E-02	3,73E-03	5,24E-03	4,07E+02	4,49E+00
			EPS	1,11E-01	9,94E+00	2,64E-07	3,58E-02	1,62E-02	2,98E-03	2,52E+02	2,42E+00
			PUR	2,59E-01	2,56E+01	1,13E-07	1,06E-01	1,23E-02	1,65E-02	6,00E+02	1,54E+01
			MW	1,26E-01	1,75E+01	7,32E-07	9,98E-02	1,11E-02	5,35E-03	2,59E+02	1,17E+01
			ICB	1,97E-01	-1,24E+01	1,75E-06	1,02E-01	8,60E-03	1,24E-02	4,74E+02	5,14E+02
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00
		Revestimento Interior	Argamassa de Reboco								
		Ar									
		Superfície Interior									
CI 2		Superfície Exterior									

			Indicadores de Impacte Ambiental por Material (m²)							
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Cobertura inclinada com desvão não habitável	Revestimento Cobertura	Telhas Cerâmicas								
	Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa								
	Revestimento de Piso	Paineis de OBS	4,84E-02	6,83E+00	7,59E-07	2,13E-02	9,15E-04	3,37E-03	1,12E+02	6,26E+00
	Ar									
	Isolamento Térmico	XPS	1,55E-01	3,65E+01	6,23E-04	5,81E-02	3,22E-03	4,52E-03	3,51E+02	3,88E+00
		EPS	9,72E-02	8,69E+00	2,31E-07	3,13E-02	1,42E-02	2,60E-03	2,21E+02	2,12E+00
		PUR	2,26E-01	2,24E+01	9,92E-08	9,29E-02	1,08E-02	1,44E-02	5,25E+02	1,35E+01
		MW	1,10E-01	1,53E+01	6,41E-07	8,74E-02	9,74E-03	4,68E-03	2,27E+02	1,03E+01
		ICB	1,67E-01	-1,05E+01	1,49E-06	8,68E-02	7,33E-03	1,06E-02	4,04E+02	4,38E+02
	Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00
	Laje de Esteira	Betão Armado								
	Revestimento Interior	Argamassa de Reboco								
	Ar Ventilado									
	Superfície Interior									
	CI 3	Superfície Exterior								
	Revestimento Cobertura	Telhas Cerâmicas								
	Suporte Revestimento	Madeira Serrada Densa								
	Revestimento Interior	Paineis de OBS								
	Ar									
	Isolamento Térmico	XPS	1,55E-01	3,65E+01	6,23E-04	5,81E-02	3,22E-03	4,52E-03	3,51E+02	3,88E+00
		EPS	9,72E-02	8,69E+00	2,31E-07	3,13E-02	1,42E-02	2,60E-03	2,21E+02	2,12E+00
		PUR	2,26E-01	2,24E+01	9,92E-08	9,29E-02	1,08E-02	1,44E-02	5,25E+02	1,35E+01
		MW	1,10E-01	1,53E+01	6,41E-07	8,74E-02	9,74E-03	4,68E-03	2,27E+02	1,03E+01
		ICB	1,67E-01	-1,05E+01	1,49E-06	8,68E-02	7,33E-03	1,06E-02	4,04E+02	4,38E+02
	Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00
	Laje de Esteira	Betão Armado								
	Revestimento Interior	Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00
	Ar Ventilado									
	Superfície Interior									
	CI 4	Superfície Exterior								

		Simulação	Indicadores de Impacte Ambiental por Solução Construtiva								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura inclinada com desvão habitável	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente	I1	XPS	2,54E-01	5,48E+01	7,22E-04	9,28E-02	5,00E-03	9,01E-03	5,72E+02	1,51E+01
			EPS	1,85E-01	2,25E+01	5,91E-07	6,12E-02	1,75E-02	6,75E-03	4,17E+02	1,31E+01
			PUR	3,32E-01	3,81E+01	4,40E-07	1,32E-01	1,36E-02	2,03E-02	7,65E+02	2,61E+01
			MW	2,00E-01	3,00E+01	1,06E-06	1,25E-01	1,24E-02	9,12E-03	4,24E+02	2,24E+01
	CI 1	ICB	2,70E-01	1,67E-01	2,08E-06	1,27E-01	9,86E-03	1,62E-02	6,39E+02	5,25E+02	
	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	2A	XPS	1,85E-01	3,58E+01	7,22E-04	7,16E-02	4,12E-03	5,92E-03	4,17E+02	8,88E+01
			EPS	1,17E-01	3,54E+00	3,32E-07	4,01E-02	1,66E-02	3,66E-03	2,63E+02	8,67E+01
			PUR	2,64E-01	1,92E+01	1,82E-07	1,10E-01	1,27E-02	1,72E-02	6,11E+02	9,97E+01
			MW	1,31E-01	1,11E+01	8,00E-07	1,04E-01	1,15E-02	6,04E-03	2,70E+02	9,60E+01
	CI 2	ICB	2,02E-01	-1,88E+01	1,82E-06	1,06E-01	8,99E-03	1,31E-02	4,85E+02	5,98E+02	
	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	2B	XPS	2,78E-01	4,73E+01	7,23E-04	1,12E-01	6,29E-03	9,91E-03	6,22E+02	9,91E+01
			EPS	2,09E-01	1,50E+01	1,51E-06	8,07E-02	1,88E-02	7,65E-03	4,67E+02	9,71E+01
			PUR	3,56E-01	3,06E+01	1,36E-06	1,51E-01	1,49E-02	2,12E-02	8,15E+02	1,10E+02
			MW	2,24E-01	2,25E+01	1,98E-06	1,45E-01	1,37E-02	1,00E-02	4,74E+02	1,06E+02
	CI 2	ICB	2,94E-01	-7,34E+00	3,00E-06	1,47E-01	1,12E-02	1,71E-02	6,89E+02	6,09E+02	
	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	2C	XPS	3,70E-01	5,87E+01	7,24E-04	1,53E-01	8,46E-03	1,39E-02	8,26E+02	1,10E+02
			EPS	3,01E-01	2,64E+01	2,69E-06	1,21E-01	2,09E-02	1,16E-02	6,71E+02	1,07E+02
			PUR	4,48E-01	4,20E+01	2,54E-06	1,92E-01	1,70E-02	2,52E-02	1,02E+03	1,20E+02
			MW	3,16E-01	3,40E+01	3,16E-06	1,85E-01	1,59E-02	1,40E-02	6,79E+02	1,17E+02
	CI 2	ICB	3,86E-01	4,09E+00	4,17E-06	1,87E-01	1,33E-02	2,11E-02	8,94E+02	6,19E+02	
	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	2D	XPS	5,54E-01	8,15E+01	7,26E-04	2,34E-01	1,28E-02	2,19E-02	1,23E+03	1,30E+02
			EPS	4,85E-01	4,92E+01	5,04E-06	2,02E-01	2,53E-02	1,96E-02	1,08E+03	1,28E+02
			PUR	6,33E-01	6,49E+01	4,89E-06	2,73E-01	2,14E-02	3,31E-02	1,43E+03	1,41E+02
			MW	5,00E-01	5,68E+01	5,51E-06	2,67E-01	2,02E-02	2,20E-02	1,09E+03	1,38E+02
	CI 2	ICB	5,70E-01	2,69E+01	6,53E-06	2,69E-01	1,77E-02	2,91E-02	1,30E+03	6,40E+02	

			Simulação	Indicadores de Impacte Ambiental por Solução Construtiva							
				ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Cobertura inclinada com desvão habitável	Isolamento Térmico Sobre Laje de Esteira	I3	XPS	2,58E-01	4,80E+01	6,24E-04	9,22E-02	4,89E-03	9,72E-03	5,76E+02	1,24E+01
			EPS	2,00E-01	2,02E+01	9,96E-07	6,54E-02	1,58E-02	7,80E-03	4,45E+02	1,06E+01
			PUR	3,29E-01	3,39E+01	8,65E-07	1,27E-01	1,24E-02	1,96E-02	7,49E+02	2,20E+01
			MW	2,13E-01	2,69E+01	1,41E-06	1,21E-01	1,14E-02	9,88E-03	4,51E+02	1,88E+01
	CI 3	ICB	2,70E-01	1,02E+00	2,26E-06	1,21E-01	8,99E-03	1,58E-02	6,29E+02	4,46E+02	
	Isolamento Térmico Sob Laje de Esteira, pelo Interior	I4	XPS	2,29E-01	4,90E+01	6,24E-04	8,36E-02	4,49E-03	8,29E-03	5,16E+02	1,45E+01
			EPS	1,71E-01	2,12E+01	5,58E-07	5,67E-02	1,54E-02	6,38E-03	3,85E+02	1,28E+01
			PUR	3,00E-01	3,49E+01	4,26E-07	1,18E-01	1,20E-02	1,82E-02	6,90E+02	2,41E+01
			MW	1,84E-01	2,79E+01	9,67E-07	1,13E-01	1,10E-02	8,45E-03	3,92E+02	2,09E+01
CI 4	ICB	2,41E-01	2,00E+00	1,82E-06	1,12E-01	8,59E-03	1,44E-02	5,69E+02	4,49E+02		

A3.2. COBERTURAS PLANAS

			Indicadores de Impacte Ambiental por 1 kg de material								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura Plana Tradicional ou Invertida	Cobertura Tradicional	Revestimento de Cobertura	Brita	2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
		Camada de Dessolidarização	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado								
	Laje	Betão Armado									
	Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	0,00049	0,195	8E-09	0,00032	1,3E-05	4,9E-05	1,31	0,21	
	Ar										
	Superfície Interior										
	P1	Superfície Exterior									
	Cobertura Invertida	Revestimento de Cobertura	Brita	2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
		Camada de Dessolidarização	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado								
Laje		Betão Armado									
Revestimento de Teto		Argamassa de Reboco	0,00049	0,195	8E-09	0,00032	1,3E-05	4,9E-05	1,31	0,21	
Ar											
Superfície Interior											
P2		Superfície Exterior									

			Indicadores de Impacte Ambiental por 1 kg de material							
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Cobertura Plana Tradicional ou Invertida	Revestimento de Cobertura	Brita	2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
	Camada de Dessolidarização	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
	Impermeabilização	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
	Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado								
	Laje	Betão Armado								
	Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
		EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
		PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
		MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
		ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
	Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
	Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
	Ar									
	Superfície Interior									
P3	Superfície Exterior									

			Indicadores de Impacte Ambiental por 1 kg de material								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura Jardim	Revestimento de Cobertura	Terra Vegetal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
	Feltro Separador	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01	
	Manta Drenante	Gravilha (Brita)	2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03	
	Feltro Separador	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01	
	Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00	
		EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00	
		PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00	
		MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01	
		ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01	
	Feltro Separador	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01	
	Impermeabilização	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01	
	Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado									
	Laje	Betão Armado									
	Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01	
	Ar										
	Superfície Interior										
	P4	Superfície Exterior									
	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente, pelo Interior	Revestimento de Cobertura	Terra Vegetal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
		Feltro Separador	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
		Manta Drenante	Gravilha (Brita)	2,95E-05	4,28E-03	4,08E-10	2,34E-10	1,01E-06	4,15E-06	5,69E-02	1,04E-03
		Feltro Separador	Polipropileno	3,24E-02	1,96E+00	1,65E-10	6,19E-03	4,21E-04	6,51E-04	7,46E+01	4,81E-01
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado								
		Laje	Betão Armado								
		Isolamento Térmico	XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
			EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
			PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
			MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
			ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
		Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
		Ar									
		Superfície Interior									
P5		Superfície Exterior									

			Indicadores de Impacte Ambiental por Material (m²)									
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER		
Cobertura Plana Tradicional ou Invertida	Cobertura Tradicional	Revestimento de Cobertura	Brita	6,49E-03	9,42E-01	8,98E-08	5,15E-08	2,22E-04	9,13E-04	1,25E+01	2,29E-01	
		Camada de Dessolidarização	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01	
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00	
			Isolamento Térmico	XPS	1,41E-01	3,30E+01	5,64E-04	5,26E-02	2,92E-03	4,09E-03	3,18E+02	3,51E+00
		EPS		8,80E-02	7,87E+00	2,09E-07	2,83E-02	1,28E-02	2,36E-03	2,00E+02	1,92E+00	
		PUR		2,05E-01	2,02E+01	8,98E-08	8,41E-02	9,74E-03	1,31E-02	4,75E+02	1,22E+01	
		MW		9,98E-02	1,39E+01	5,80E-07	7,90E-02	8,82E-03	4,24E-03	2,05E+02	9,30E+00	
		ICB		1,53E-01	-9,61E+00	1,36E-06	7,92E-02	6,69E-03	9,67E-03	3,69E+02	4,00E+02	
		Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00	
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado									
	Laje	Betão Armado										
	Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00		
	Ar											
	Superfície Interior											
	P1	Superfície Exterior										
	Cobertura Invertida	Cobertura Invertida	Revestimento de Cobertura	Brita	6,49E-03	9,42E-01	8,98E-08	5,15E-08	2,22E-04	9,13E-04	1,25E+01	2,29E-01
			Camada de Dessolidarização	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01
			Impermeabilização	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00
				XPS	1,47E-01	3,46E+01	5,90E-04	5,51E-02	3,05E-03	4,28E-03	3,33E+02	3,67E+00
			Isolamento Térmico	EPS	8,80E-02	7,87E+00	2,09E-07	2,83E-02	1,28E-02	2,36E-03	2,00E+02	1,92E+00
PUR				2,05E-01	2,02E+01	8,98E-08	8,41E-02	9,74E-03	1,31E-02	4,75E+02	1,22E+01	
MW				9,98E-02	1,39E+01	5,80E-07	7,90E-02	8,82E-03	4,24E-03	2,05E+02	9,30E+00	
ICB				1,53E-01	-9,61E+00	1,36E-06	7,92E-02	6,69E-03	9,67E-03	3,69E+02	4,00E+02	
Camada de Forma			Betão Celular Autoclavado									
Laje			Betão Armado									
Revestimento de Teto		Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00		
Ar												
Superfície Interior												
P2		Superfície Exterior										

			Indicadores de Impacte Ambiental por Material (m²)								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura Plana Tradicional ou Invertida	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente, pelo Interior	Revestimento de Cobertura	Brita	6,49E-03	9,42E-01	8,98E-08	5,15E-08	2,22E-04	9,13E-04	1,25E+01	2,29E-01
		Camada de Dessolidarização	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado								
		Laje	Betão Armado								
		Isolamento Térmico	XPS	1,41E-01	3,30E+01	5,64E-04	5,26E-02	2,92E-03	4,09E-03	3,18E+02	3,51E+00
			EPS	8,80E-02	7,87E+00	2,09E-07	2,83E-02	1,28E-02	2,36E-03	2,00E+02	1,92E+00
			PUR	2,05E-01	2,02E+01	8,98E-08	8,41E-02	9,74E-03	1,31E-02	4,75E+02	1,22E+01
			MW	9,98E-02	1,39E+01	5,80E-07	7,90E-02	8,82E-03	4,24E-03	2,05E+02	9,30E+00
	ICB		1,53E-01	-9,61E+00	1,36E-06	7,92E-02	6,69E-03	9,67E-03	3,69E+02	4,00E+02	
	Barreira para-vapor	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00	
	Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00	
	Ar										
Superfície Interior											
P3	Superfície Exterior										

			Indicadores de Impacte Ambiental por Material (m²)										
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER			
Cobertura Jardim	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	Revestimento de Cobertura	Terra Vegetal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
		Feltro Separador	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01		
		Manta Drenante	Gravilha (Brita)	5,90E-03	8,56E-01	8,16E-08	4,68E-08	2,02E-04	8,30E-04	1,14E+01	2,08E-01		
		Feltro Separador	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01		
		Isolamento Térmico	XPS	1,31E-01	3,07E+01	5,25E-04	4,90E-02	2,71E-03	3,81E-03	2,96E+02	3,26E+00		
			EPS	7,87E-02	7,04E+00	1,87E-07	2,53E-02	1,15E-02	2,11E-03	1,79E+02	1,72E+00		
			PUR	1,83E-01	1,81E+01	8,03E-08	7,52E-02	8,71E-03	1,17E-02	4,25E+02	1,09E+01		
			MW	8,93E-02	1,24E+01	5,19E-07	7,07E-02	7,89E-03	3,79E-03	1,84E+02	8,32E+00		
			ICB	1,38E-01	-8,70E+00	1,23E-06	7,17E-02	6,05E-03	8,75E-03	3,34E+02	3,62E+02		
		Feltro Separador	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01		
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00		
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado										
		Laje	Betão Armado										
		Revestimento de Teto	Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00		
		Ar											
		Superfície Interior											
	P4	Superfície Exterior											
	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente, pelo Interior	Revestimento de Cobertura	Terra Vegetal	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00		
		Feltro Separador	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01		
		Manta Drenante	Gravilha (Brita)	5,90E-03	8,56E-01	8,16E-08	4,68E-08	2,02E-04	8,30E-04	1,14E+01	2,08E-01		
		Feltro Separador	Polipropileno	5,90E-02	3,57E+00	3,00E-10	1,13E-02	7,66E-04	1,18E-03	1,36E+02	8,75E-01		
		Impermeabilização	Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00		
		Camada de Forma	Betão Celular Autoclavado										
		Laje	Betão Armado										
		Isolamento Térmico	XPS	1,24E-01	2,92E+01	4,99E-04	4,65E-02	2,58E-03	3,62E-03	2,81E+02	3,10E+00		
EPS			7,87E-02	7,04E+00	1,87E-07	2,53E-02	1,15E-02	2,11E-03	1,79E+02	1,72E+00			
PUR			1,83E-01	1,81E+01	8,03E-08	7,52E-02	8,71E-03	1,17E-02	4,25E+02	1,09E+01			
MW			8,93E-02	1,24E+01	5,19E-07	7,07E-02	7,89E-03	3,79E-03	1,84E+02	8,32E+00			
ICB			1,38E-01	-8,70E+00	1,23E-06	7,17E-02	6,05E-03	8,75E-03	3,34E+02	3,62E+02			
Barreira para-vapor		Membrana PVC flexível	5,42E-02	4,73E+00	6,82E-09	1,28E-02	7,49E-04	1,82E-03	1,13E+02	2,24E+00			
Revestimento de Teto		Argamassa de Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00			
Ar													
Superfície Interior													
P5	Superfície Exterior												

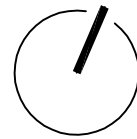
		Simulação	Indicadores de Impacte Ambiental por Solução Construtiva								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura Plana Tradicional ou Invertida	Cobertura Tradicional	P1	XPS	3,08E-01	4,61E+01	5,64E-04	8,96E-02	5,19E-03	8,97E-03	6,79E+02	8,88E+00
			EPS	2,56E-01	2,09E+01	2,27E-07	6,53E-02	1,51E-02	7,23E-03	5,61E+02	7,29E+00
			PUR	3,72E-01	3,33E+01	1,08E-07	1,21E-01	1,20E-02	1,79E-02	8,37E+02	1,76E+01
			MW	2,68E-01	2,69E+01	5,98E-07	1,16E-01	1,11E-02	9,11E-03	5,67E+02	1,47E+01
	P1	ICB	3,21E-01	3,46E+00	1,38E-06	1,16E-01	8,96E-03	1,46E-02	7,30E+02	4,05E+02	
	Cobertura Invertida	P2	XPS	2,61E-01	4,29E+01	5,90E-04	7,92E-02	4,58E-03	7,34E-03	5,82E+02	6,80E+00
			EPS	2,02E-01	1,62E+01	2,21E-07	5,24E-02	1,44E-02	5,41E-03	4,48E+02	5,05E+00
			PUR	3,18E-01	2,86E+01	1,01E-07	1,08E-01	1,13E-02	1,61E-02	7,24E+02	1,53E+01
			MW	2,13E-01	2,22E+01	5,91E-07	1,03E-01	1,03E-02	7,29E-03	4,54E+02	1,24E+01
	P2	ICB	2,66E-01	-1,27E+00	1,37E-06	1,03E-01	8,21E-03	1,27E-02	6,18E+02	4,03E+02	
	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente, pelo Interior	P3	XPS	2,15E-01	4,56E+01	5,64E-04	7,81E-02	4,18E-03	7,87E-03	4,83E+02	1,42E+01
			EPS	1,62E-01	2,04E+01	5,36E-07	5,38E-02	1,41E-02	6,13E-03	3,64E+02	1,26E+01
			PUR	2,79E-01	3,28E+01	4,17E-07	1,10E-01	1,10E-02	1,68E-02	6,40E+02	2,28E+01
			MW	1,74E-01	2,64E+01	9,06E-07	1,04E-01	1,01E-02	8,01E-03	3,70E+02	1,99E+01
	P3	ICB	2,27E-01	2,91E+00	1,69E-06	1,05E-01	7,95E-03	1,34E-02	5,34E+02	4,10E+02	

		Simulação	Indicadores de Impacte Ambiental por Solução Construtiva								
			ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER	
Cobertura Jardim	Isolamento Térmico Sobre Estrutura Resistente, pelo Exterior	P4	XPS	2,49E-01	3,79E+01	5,25E-04	7,15E-02	4,26E-03	6,22E-03	5,68E+02	5,03E+00
			EPS	1,97E-01	1,42E+01	1,92E-07	4,79E-02	1,30E-02	4,52E-03	4,51E+02	3,48E+00
			PUR	3,01E-01	2,53E+01	8,50E-08	9,78E-02	1,03E-02	1,41E-02	6,97E+02	1,27E+01
			MW	2,07E-01	1,96E+01	5,23E-07	9,33E-02	9,43E-03	6,20E-03	4,56E+02	1,01E+01
	P4	ICB	2,57E-01	-1,52E+00	1,24E-06	9,42E-02	7,59E-03	1,12E-02	6,06E+02	3,64E+02	
	Isolamento Térmico Sob Estrutura Resistente, pelo Interior	P5	XPS	1,98E-01	4,17E+01	4,99E-04	7,20E-02	3,84E-03	7,39E-03	4,46E+02	1,37E+01
			EPS	1,53E-01	1,96E+01	5,14E-07	5,08E-02	1,27E-02	5,88E-03	3,43E+02	1,24E+01
			PUR	2,57E-01	3,06E+01	4,07E-07	1,01E-01	9,98E-03	1,55E-02	5,90E+02	2,16E+01
			MW	1,63E-01	2,49E+01	8,45E-07	9,62E-02	9,15E-03	7,56E-03	3,49E+02	1,90E+01
	P5	ICB	2,12E-01	3,83E+00	1,56E-06	9,71E-02	7,32E-03	1,25E-02	4,99E+02	3,72E+02	

A4

RESULTADOS DA ANÁLISE DE UM CASO DE APLICAÇÃO A UM EDIFÍCIO HABITACIONAL

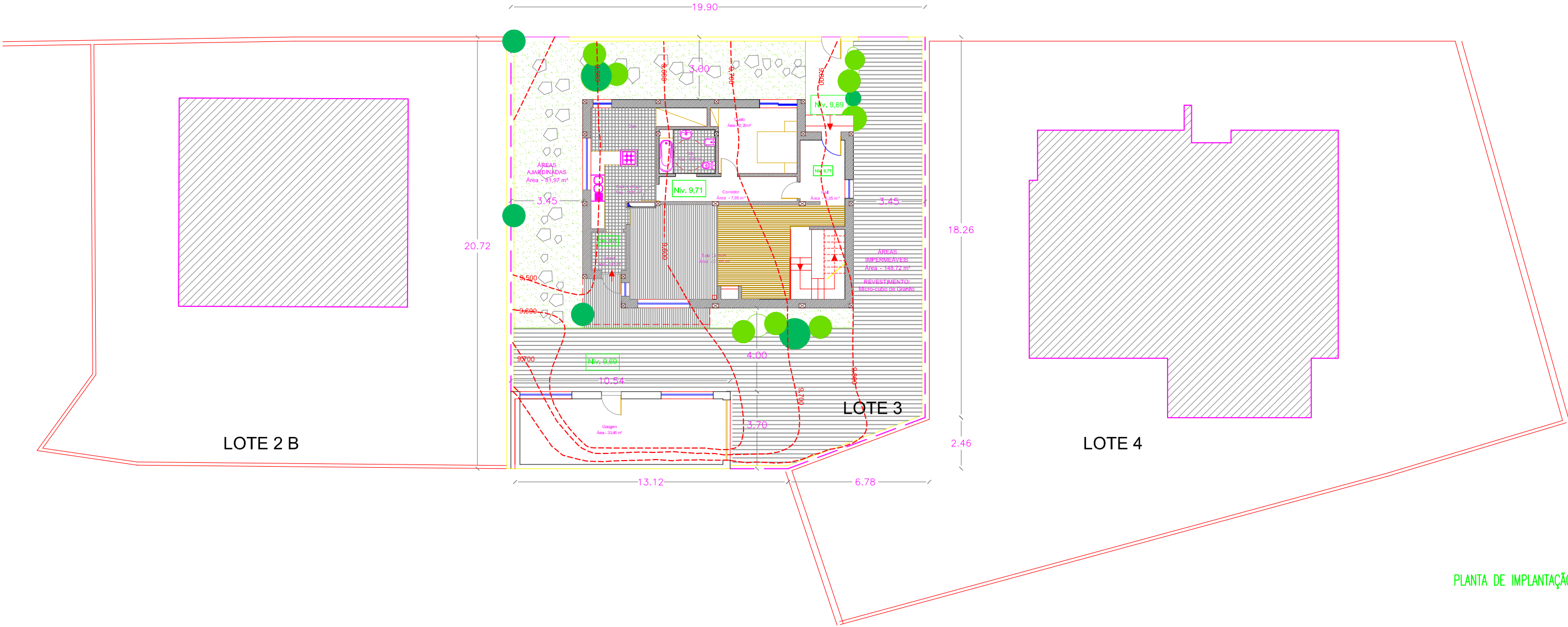
A4.1. PORMENORES CONSTRUTIVOS



PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

PLANTA DE
IMPLANTAÇÃO
escala: 1/200

ARRUAMENTO PÚBLICO



PLANTA DE IMPLANTAÇÃO

LEGENDA

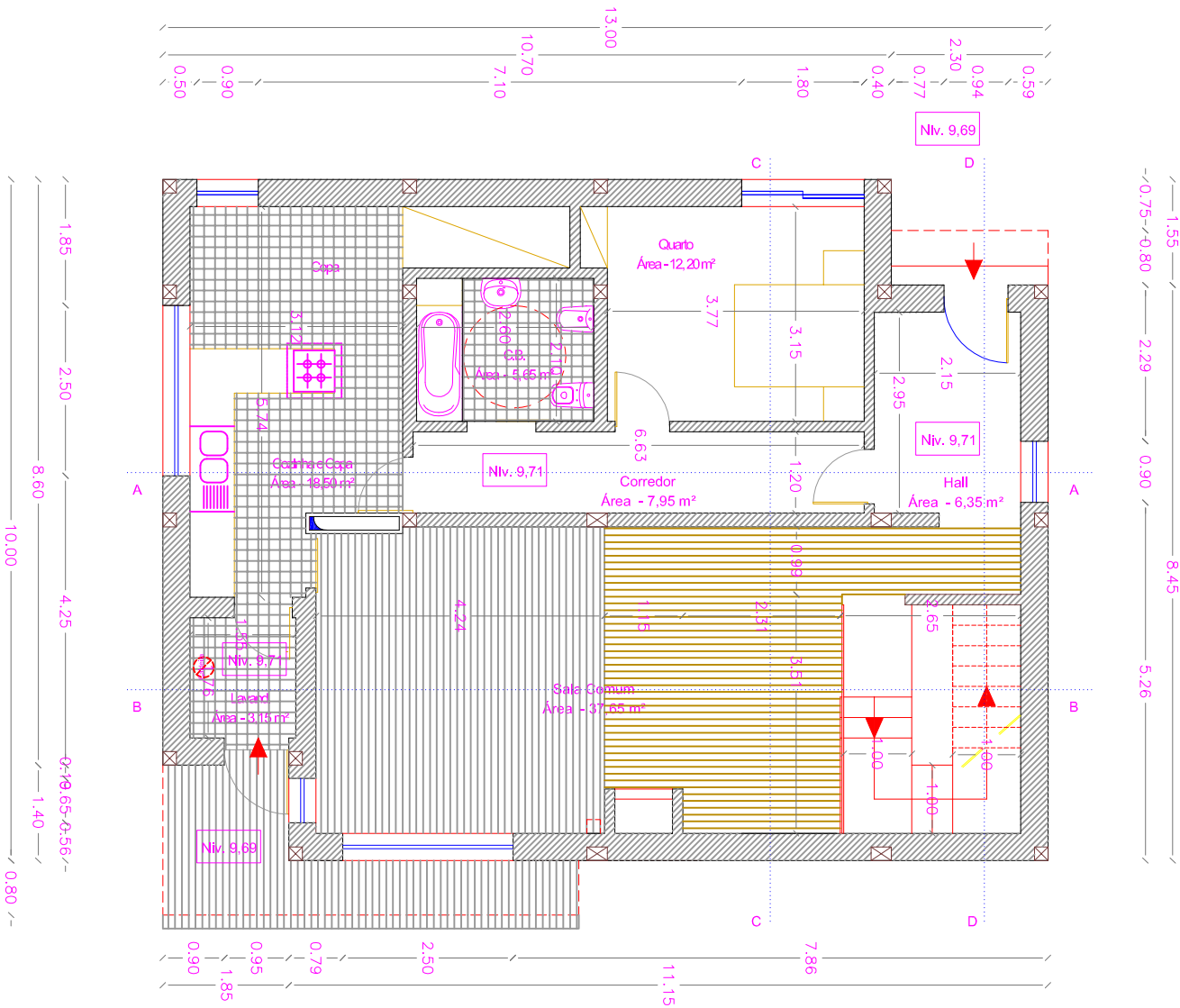
COTA DE IMPLANTAÇÃO DO EDIFÍCIO – 9,6968	ÁREA DO TERRENO – 400,00 M2	ÁREA DA GARAGEM – 39,00 M2	ÁREA DO PISO 0 – 123,84 M2	ÁREAS IMPERMEÁVEIS / PAVIMENTADAS – 148,72 M2
CURVAS DE NÍVEL A CORRIGIR – - - - -	ÁREA DE IMPLANTAÇÃO – 123,84 M2	ÁREA DE CONSTRUÇÃO TOTAL – 257,04 M2	ÁREA DO PISO 1 – 94,20 M2	ÁREAS AJARDINADAS – 81,97 M2
	ÁREA DE CONSTRUÇÃO HABITAÇÃO – 218,04 M2			



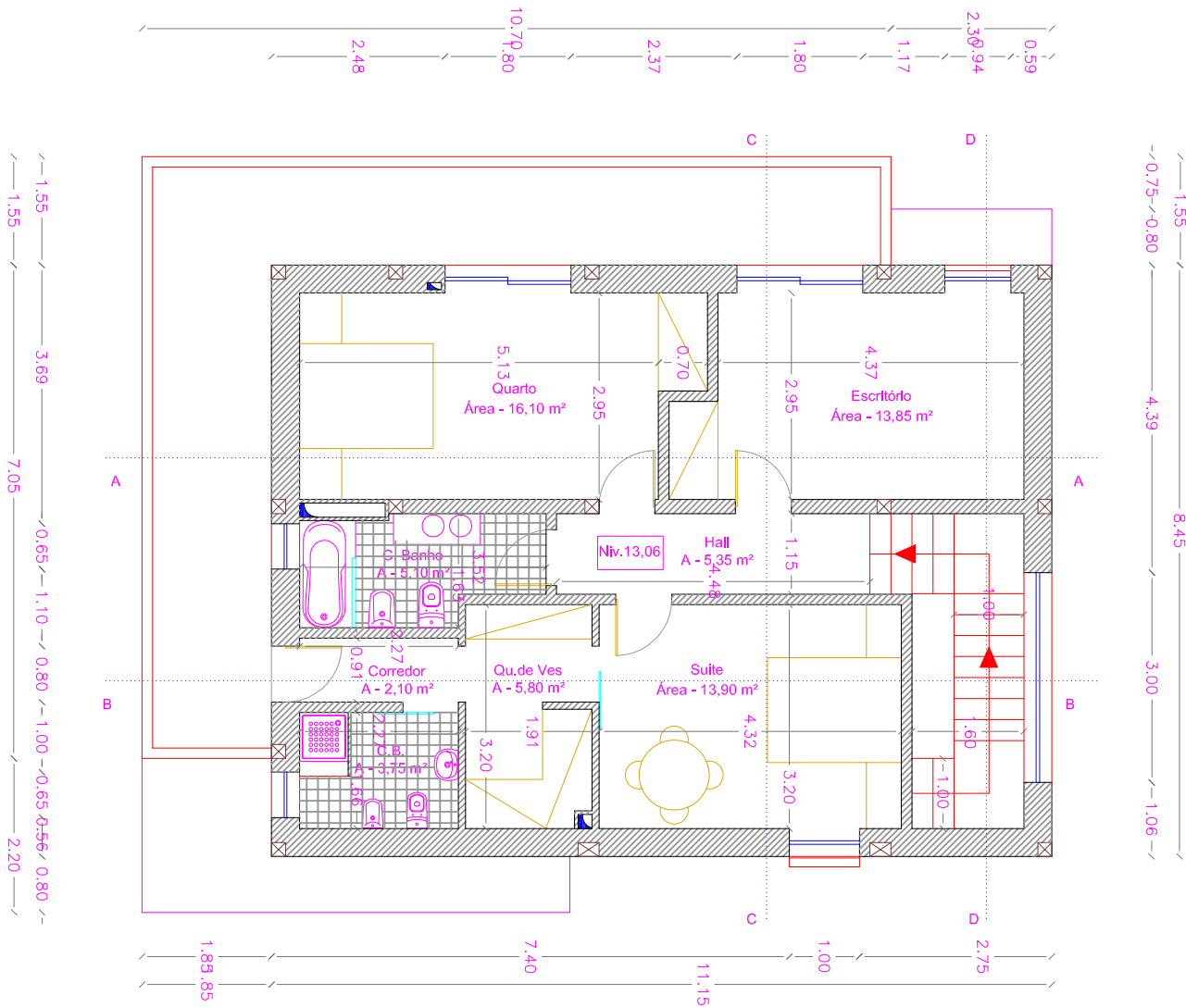
PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

PLANTAS

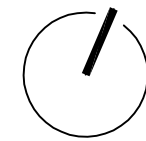
escala: 1/100



PLANTA PISO 0

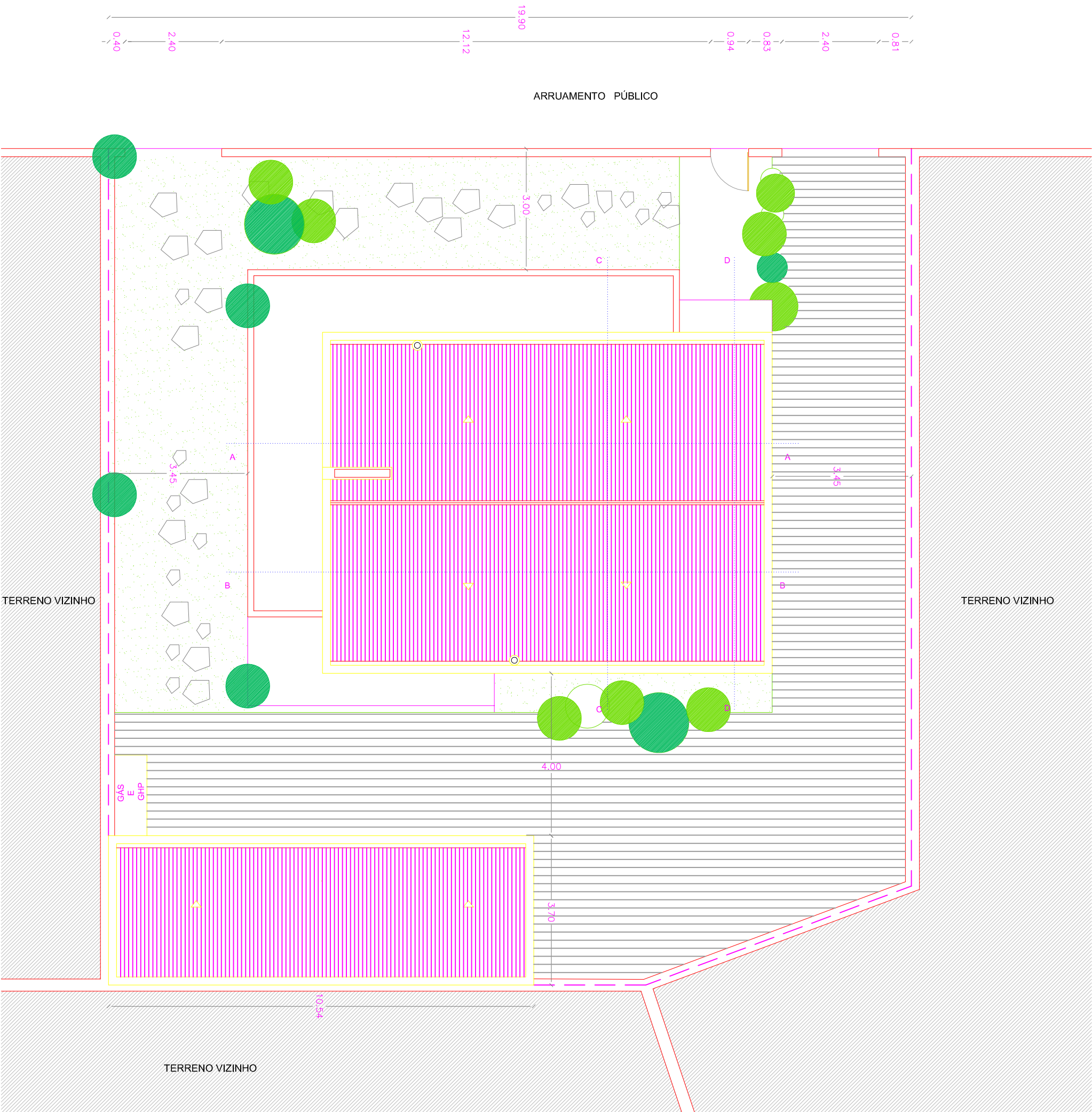


PLANTA PISO 1



PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

PLANTAS
escala: 1/100

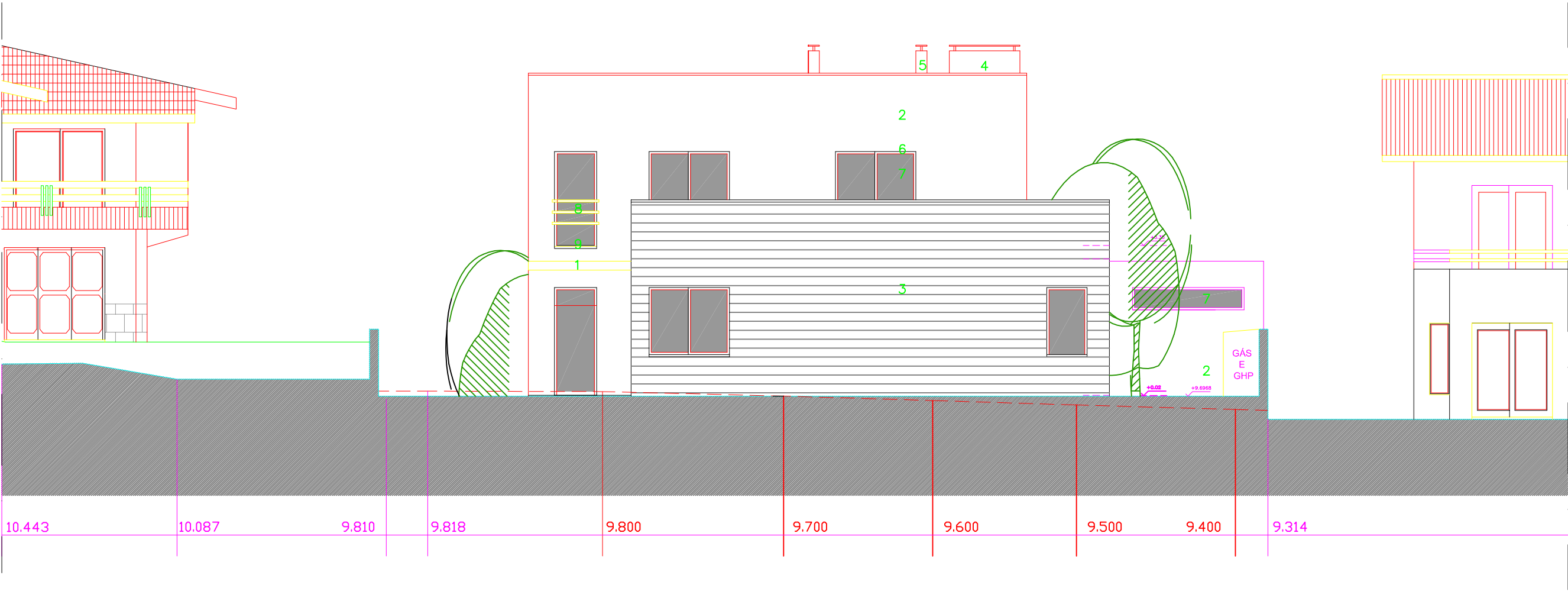


PLANTA DE COBERTURA

A3

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

ALÇADOS
escala: 1/100



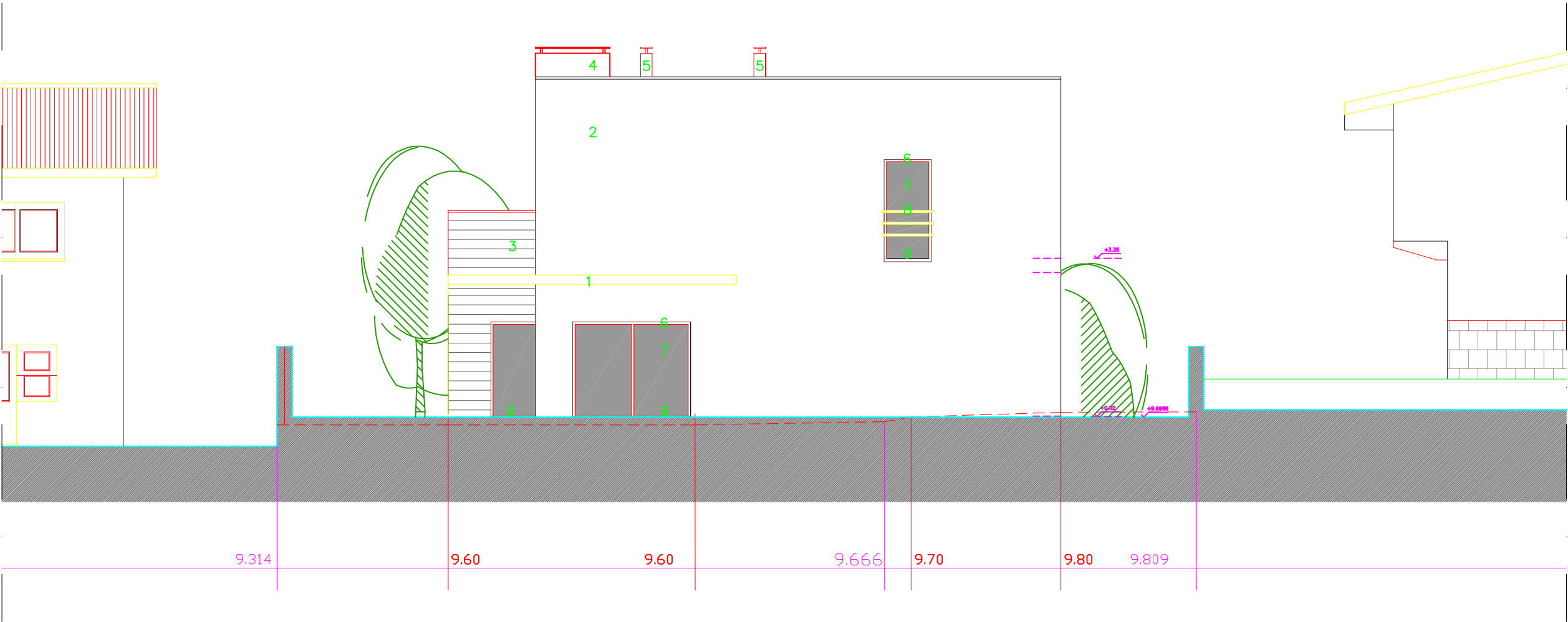
ALÇADO PRINCIPAL

LEGENDA

TERRENO EXISTENTE	---	1. Laje saliente pintada a amarelo claro	4. Chaminé em alv. de tijolo pintada a amarelo claro	7. Vidro duplo
TERRENO PROPOSTO	---	2. Areado a fino e pintado a amarelo claro	5. Chaminé em chapa zincada	8. Guardas e Portão em aço inox escovado
		3. Alvenaria de tijolo revestida com placas de granito amarelo	6. Caixilharia em PVC (Cinzento)	9. Peitoris e soleiras em granito amarelo

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

ALÇADOS
escala: 1/100



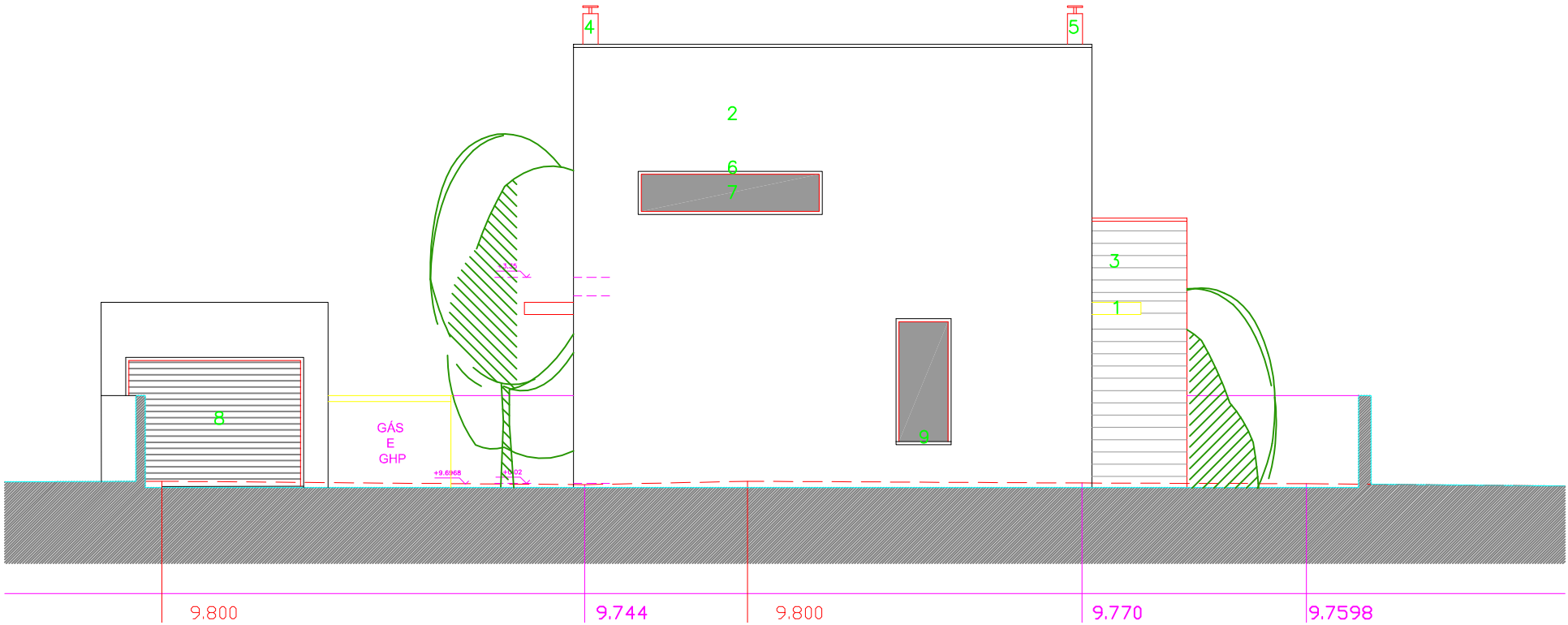
ALÇADO TARDÓS

LEGENDA

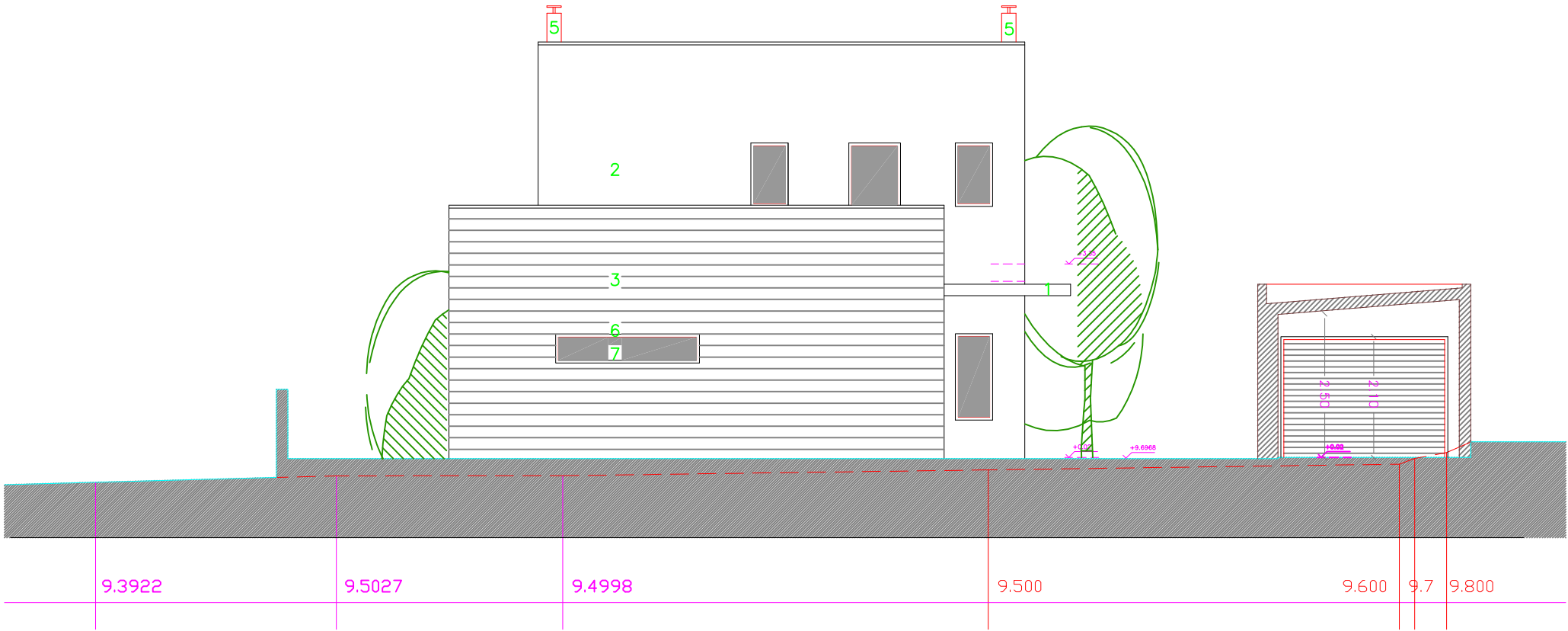
TERRENO EXISTENTE	-----	1. Laje saliente pintada a amarelo claro	4. Chaminé em alv. de tijolo pintada a amarelo claro	7. Vidro duplo
TERRENO PROPOSTO	—————	2. Areado a fino e pintado a amarelo claro	5. Chaminé em chapa zincada	8. Guardas e Portão em aço inox escovado
		3. Alvenaria de tijolo revestida com placas de granito amarelo	6. Caixilharia em PVC (Cinzento)	9. Peitoris e soleiras em granito amarelo

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

ALÇADOS
escala: 1/100



ALÇADO LATERAL ESQUERDO



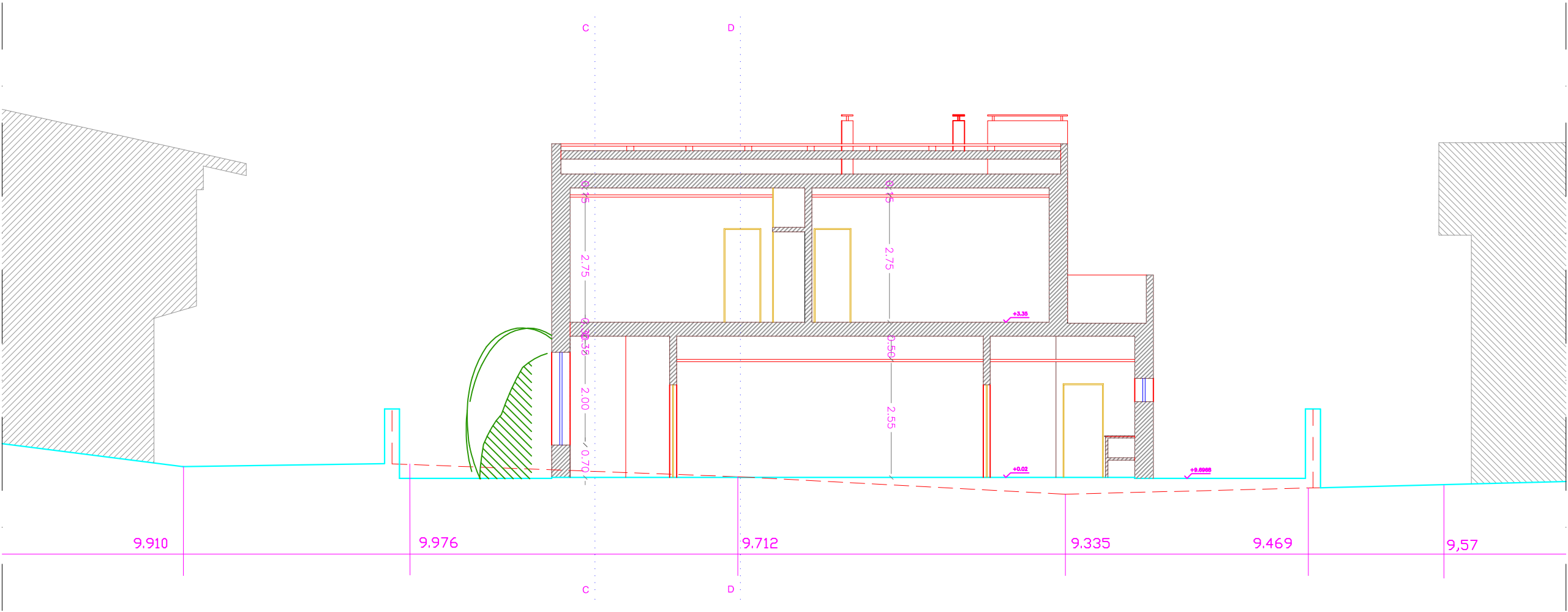
ALÇADO LATERAL DIREITO

LEGENDA

TERRENO EXISTENTE	---	1. Laje saliente pintada a amarelo claro	4. Chaminé em alv. de tijolo pintada a amarelo claro	7. Vidro duplo
TERRENO PROPOSTO	---	2. Areado a fino e pintado a amarelo claro	5. Chaminé em chapa zincada	8. Guardas e Portão em aço inox escovado
		3. Alvenaria de tijolo revestida com placas de granito amarelo	6. Caixilharia em PVC (Cinzento)	9. Peitoris e soleiras em granito amarelo

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

CORTES
escala: 1/100



CORTE LONGITUDINAL – A A

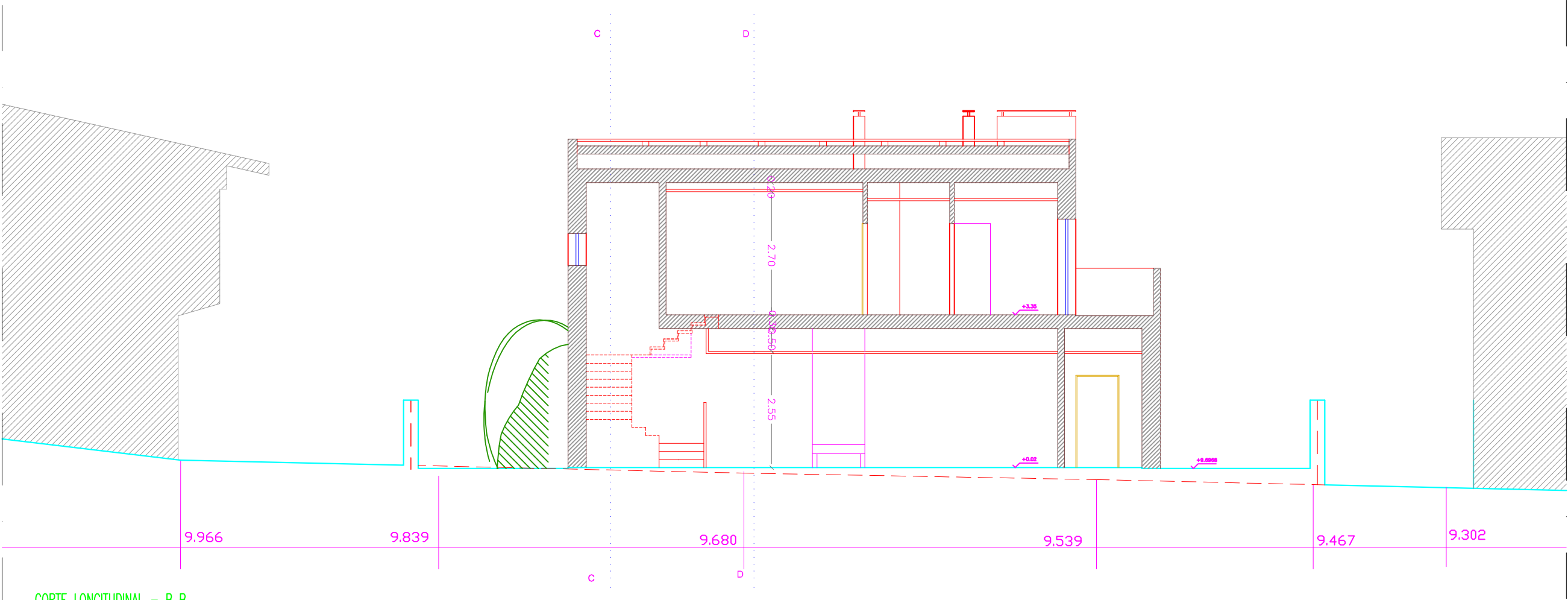
LEGENDA

- TERRENO EXISTENTE
- TERRENO PROPOSTO

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

CORTES

escala: 1/100



CORTE LONGITUDINAL - B B

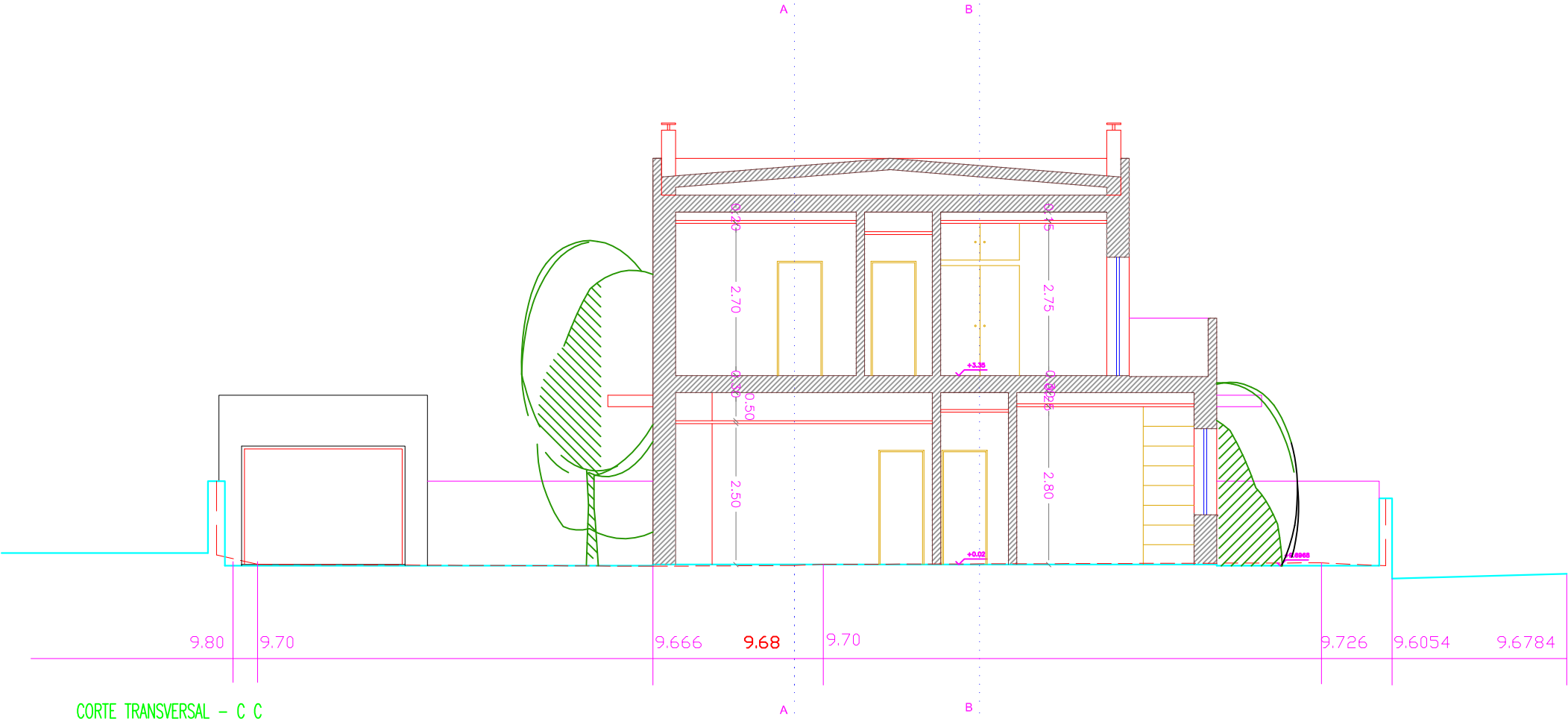
LEGENDA

- TERRENO EXISTENTE - - - - -
- TERRENO PROPOSTO - - - - -

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

CORTES

escala: 1/100



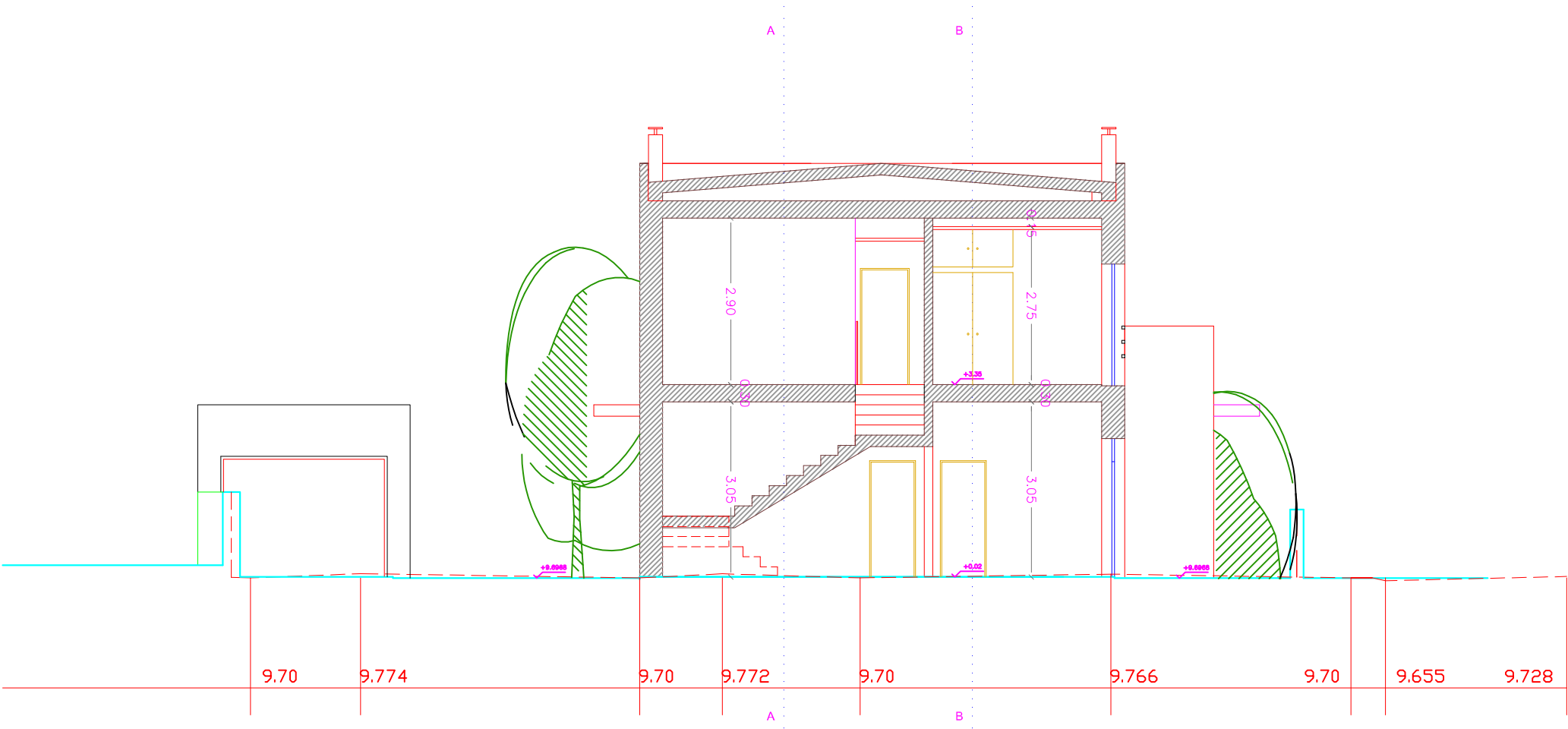
LEGENDA

- TERRENO EXISTENTE - - - - -
- TERRENO PROPOSTO —————

PROJECTO DE UMA
HABITAÇÃO UNIFAMILIAR
VILA DO CONDE

CORTES

escala: 1/100



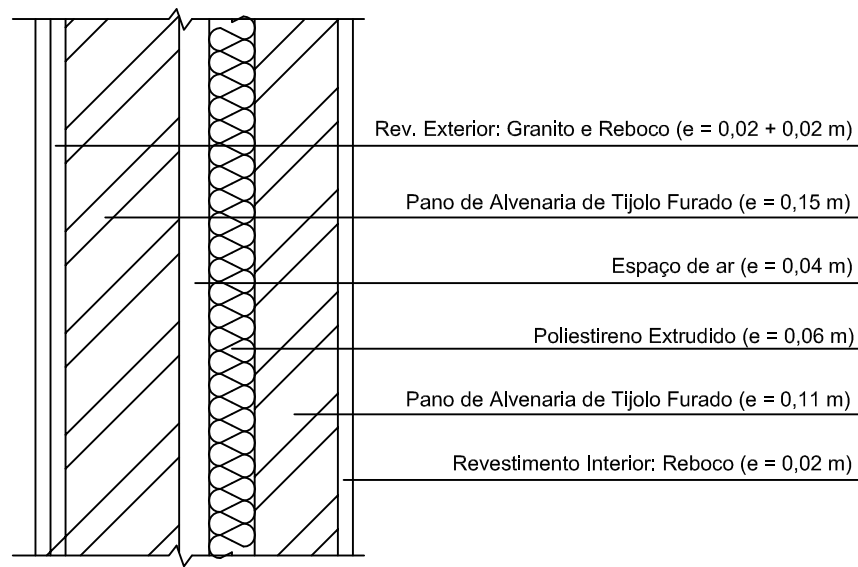
CORTE TRANSVERSAL - D D

LEGENDA

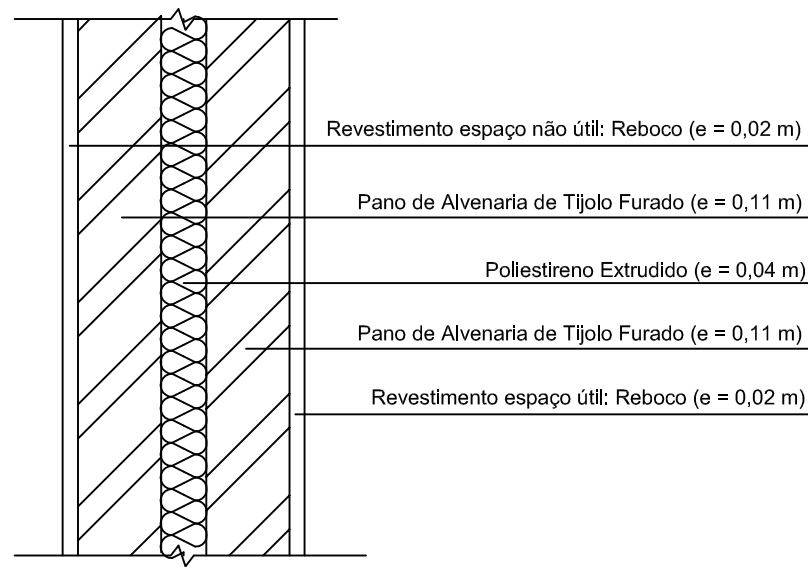
TERRENO EXISTENTE - - - - -

TERRENO PROPOSTO - - - - -

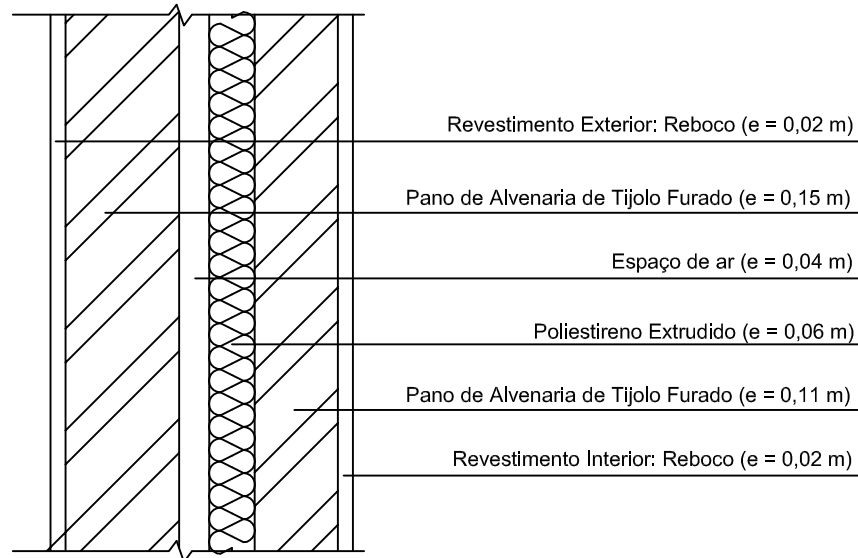
PE1 - Parede exterior revestida a granito



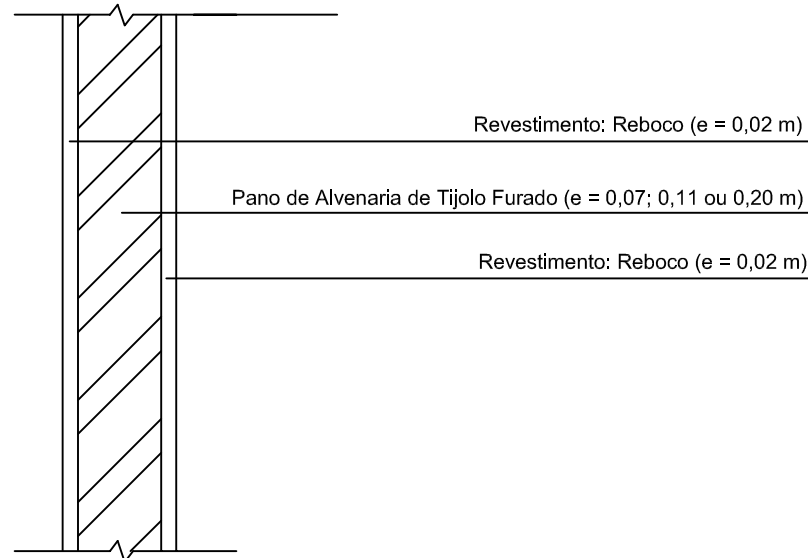
PI1 - Parede interior de separação entre espaços úteis e não úteis



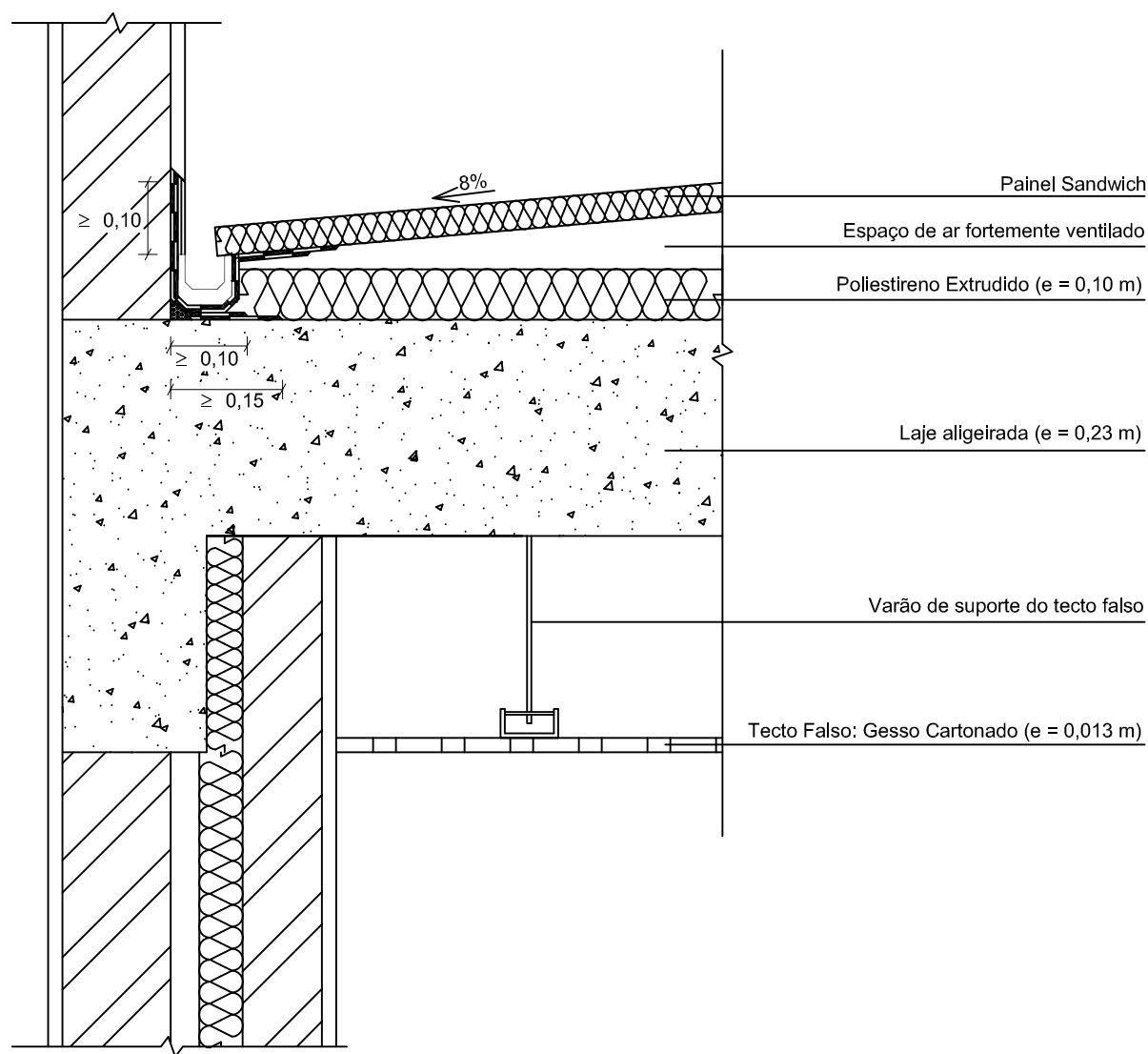
PE2 - Parede exterior rebocada e pintada



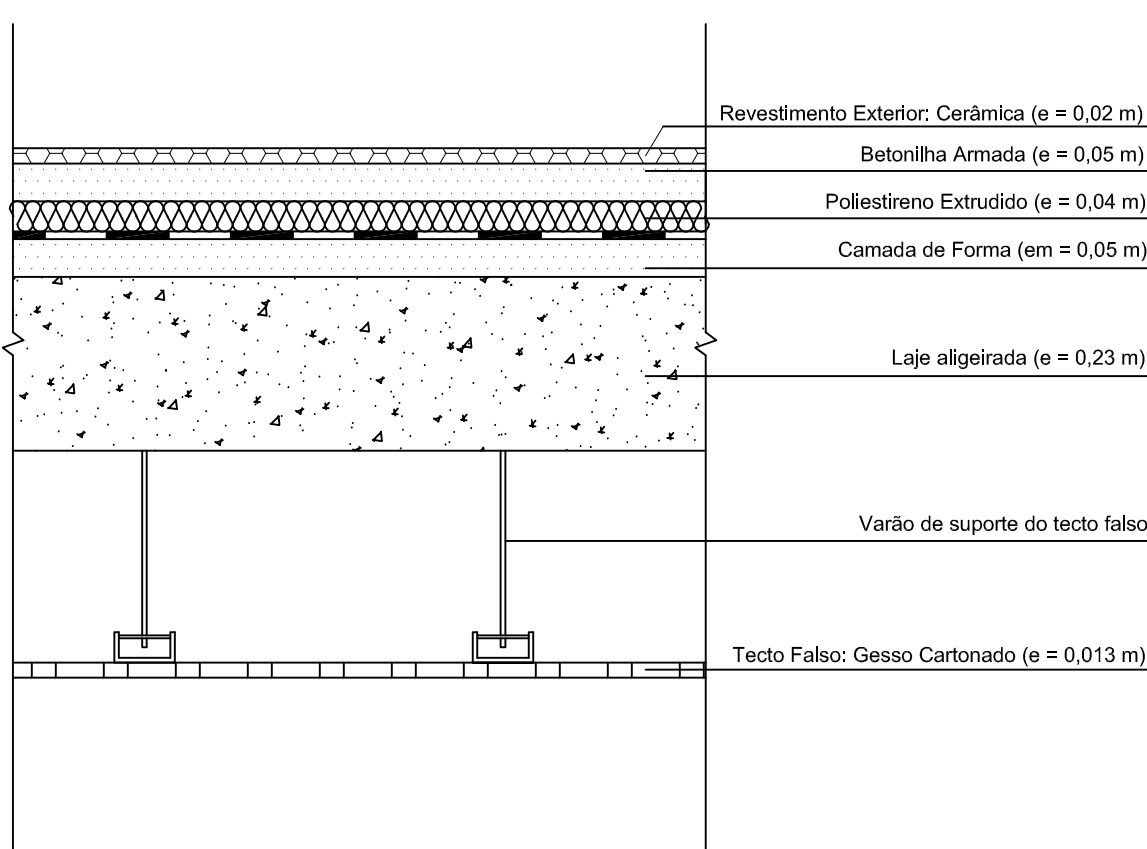
Outras Paredes Interiores



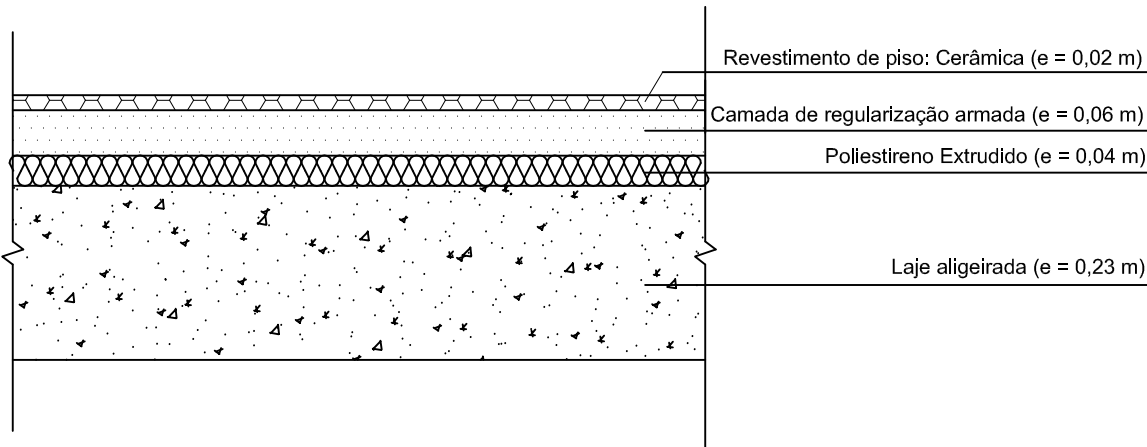
C1 - Cobertura em painel "sandwich"



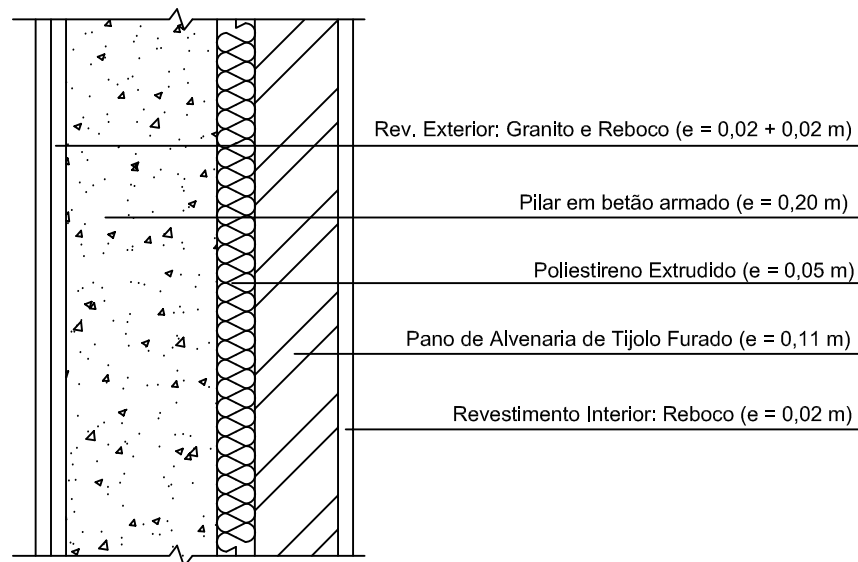
C2 - Cobertura em terraço



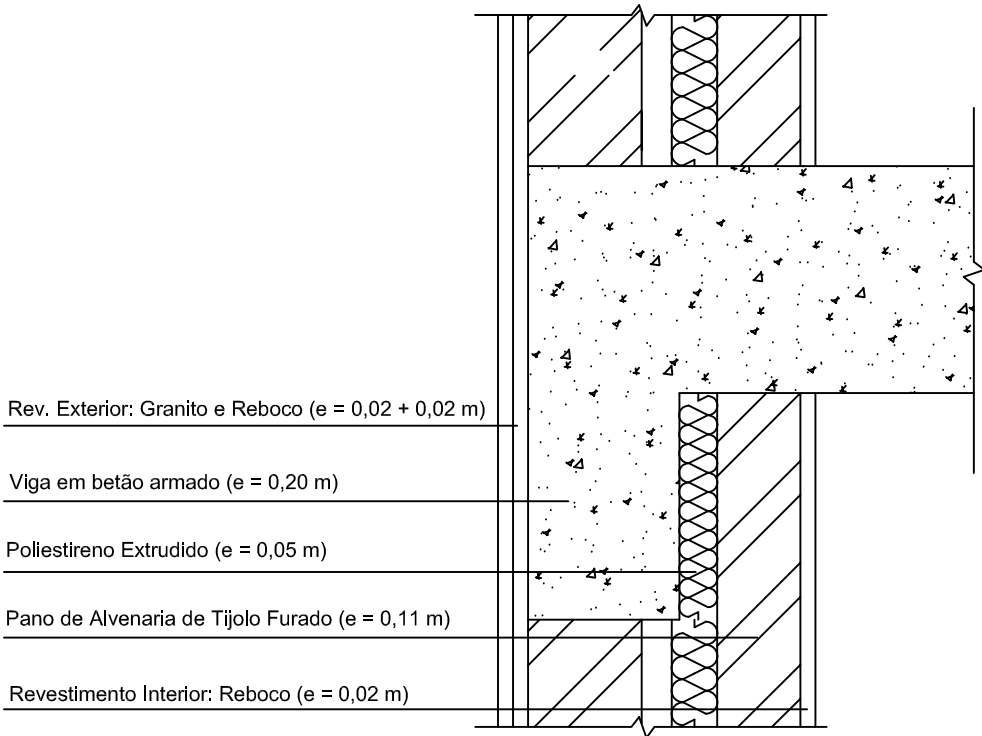
Pav1 - Pavimento sobre espaço não útil



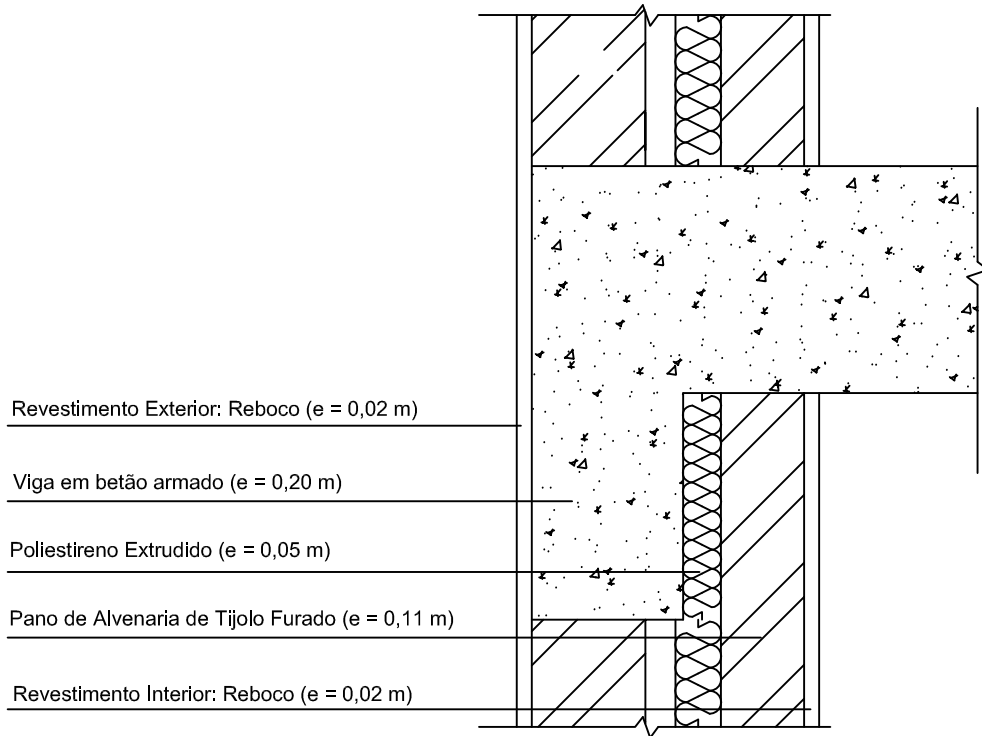
PTP1 - Parede exterior em zona de pilar com revestimento exterior em granito



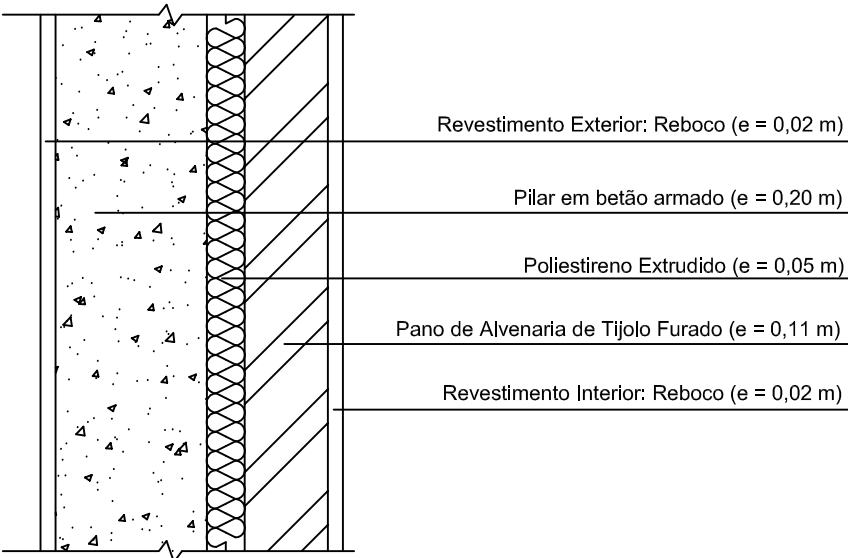
PTP1 - Parede exterior em zona de viga com revestimento exterior em granito



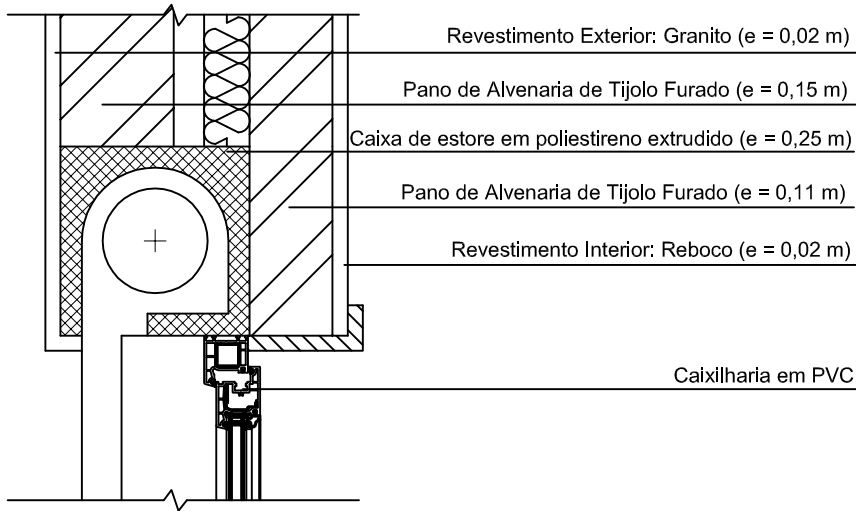
PTP2 - Parede exterior em zona de viga com revestimento exterior em reboco pintado



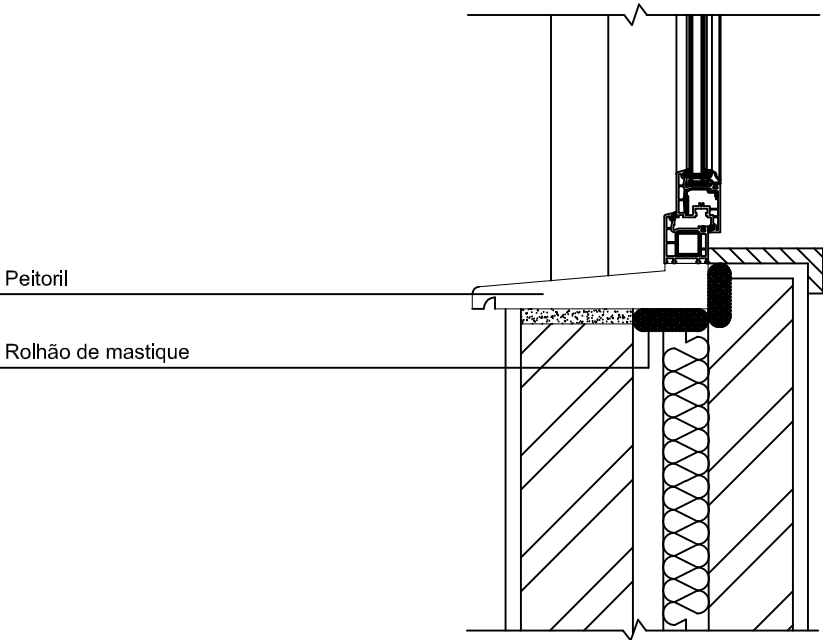
PTP2 - Parede exterior em zona de pilar com revestimento exterior em reboco pintado



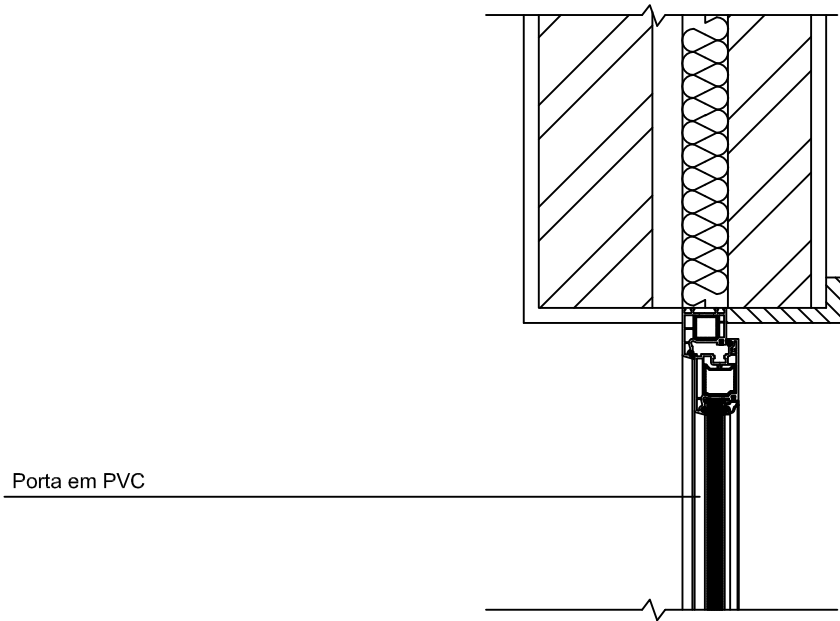
PTP3 - Parede exterior em zona de caixa de estore



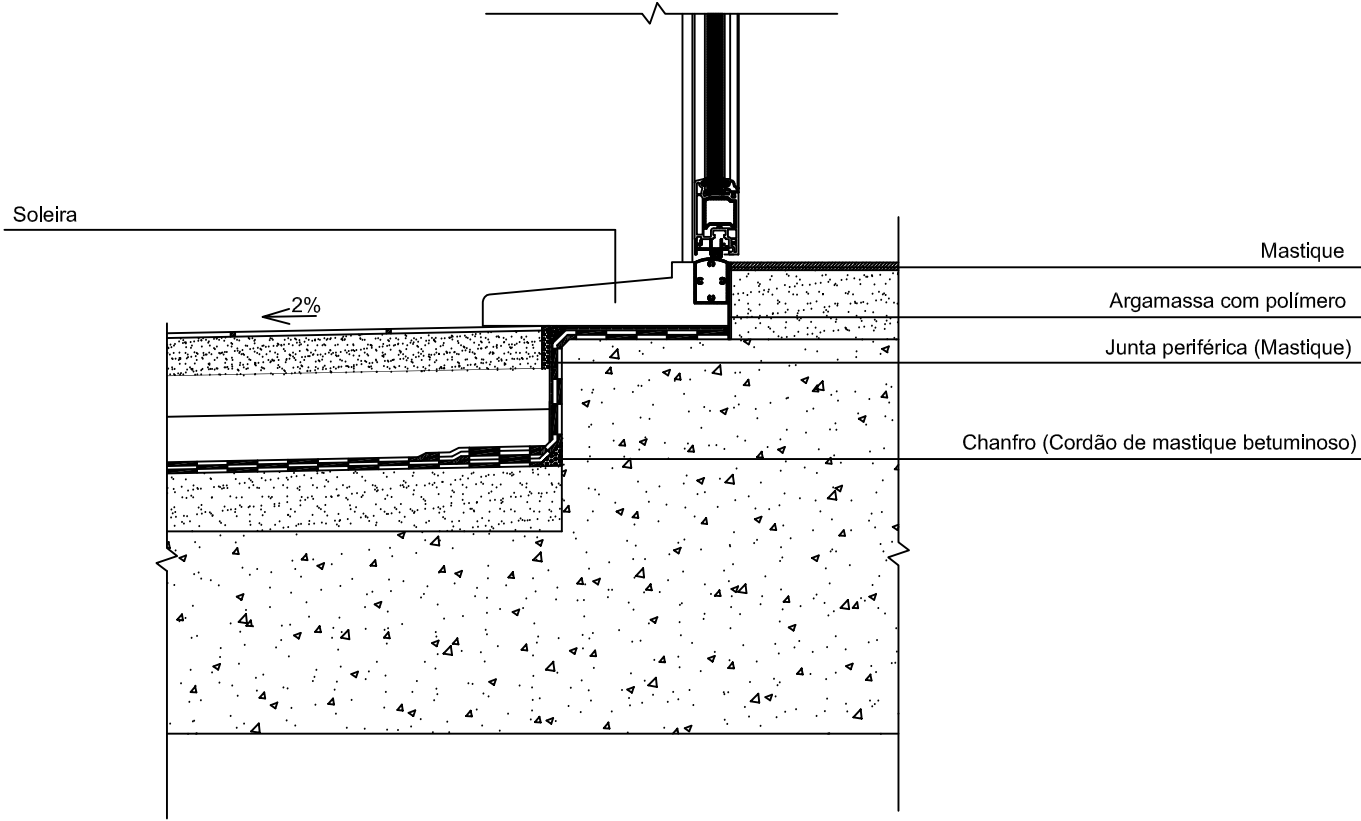
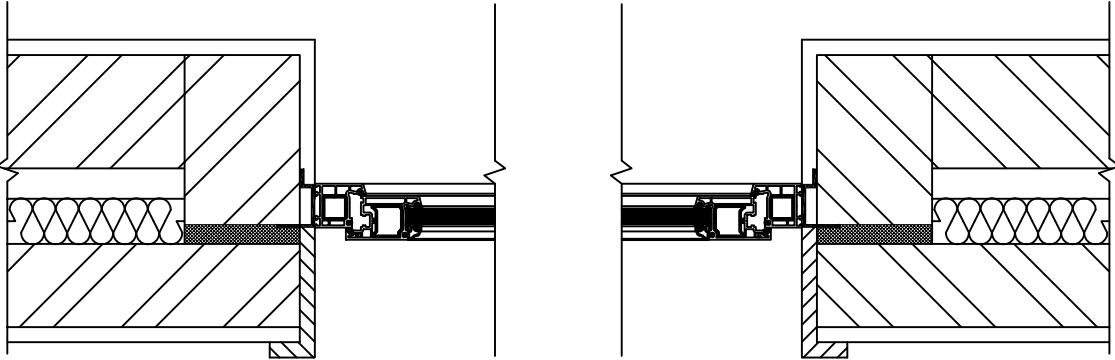
Ligação da fachada com o peitoril



Ligação entre a parede exterior e o pavimento exterior



Ligação da fachada com ombreiras



A4.2. FOLHA DE CÁLCULO REH

Ir para Escolha para onde navegar Versão V1.07, de 18 de Setembro de 2014

Identificação Geográfica

Identificação Geográfica do Edifício ou Fração Autónoma

Código do Ponto de Entrega (CPE)				
Código Postal			Concelho	Vila do Conde
Artria				
Aplicável n de Porta?	<input type="checkbox"/>	Aplicável Alojamento?	<input type="checkbox"/>	
N de Porta		Alojamento		

Coordenadas GPS

Latitude		Longitude	
----------	--	-----------	--

Tipo de Edifício

Tipo de Edifício	Habitação
------------------	-----------

Natureza da Emissão

Tipo de Certificado	Pr-Certificado	Contexto de Certificado	Grande Intervenso	Definição do Enquadramento	Licena de Edificao
---------------------	-----------------	-------------------------	--------------------	----------------------------	-----------------------

Identificação do Imvel

Identificação do Imvel

Tipo de Imvel	Edifício	Tipo de Fração	Privado
Nome do Empreendimento / Designação Comercial			

Identificação Registral

Conservatória única?	<input type="checkbox"/>	Número da Conservatória		
Conservatória Registo Predial de			Sob o n	

Identificação Fiscal

Freguesia		Cód. de Freguesia	
N Artigo Matricial		Fração	

Identificação Municipal

Aplicável N do Processo Municipal?		Data de registo	
N do Processo Municipal			

Proprietário/Promotor

Nome			
Endereço			
Código Postal			
Telefone		e-mail	
NIF		Estrangeiro	<input type="checkbox"/>

Técnico responsável pelo Projeto

Nome do Técnico			
Ordem Profissional	Ordem dos Engenheiros	N de Membro	

Empresa ao serviço da qual interveio neste projecto

Características do Imóvel

Localização geográfica do edifício

Altitude (m) 114

Introduza valor para altitude entre 0 e 233 m

Distância à costa Superior a 5km

Edifício situado

na periferia de uma zona urbana ou numa zona rural

Características do Edifício

O ano de construção é conhecido?

☐ Sim ☒ Não

Ano de construção

Período de Construção

Tipo de utilização

Habitação

Nº total de pisos que constitui o edifício

2

Possui elevador?

☐ Sim ☒ Não

Características da Fração

Área útil de pavimento (m²)

168,92

Pé-direito médio ponderado (m)

2,81

Tipologia

T3

Tipologia fiscal

T3

Inércia Térmica

Forte

Nº de pisos da fração

2

Descrição sucinta

Caract. restantes

2000

Levantamento Dimensional

Divisão	Área (m ²)	Pé Direito (m)	% Área	Volume (m ³)
P0_Sala Comum	37,65	2,55	22,3	96,01
P0_Corredor	7,95	2,55	4,7	20,27
P0_Hall	6,35	3,05	3,8	19,37
P0_Quarto	12,20	2,50	7,2	30,50
P0_Casa de Banho	5,65	2,50	3,3	14,13
P0_Cozinha e Copa	18,50	2,55	11,0	47,18
P0_Lavandaria	3,15	2,55	1,9	8,03
P0_Escada	9,31	6,25	5,5	58,19
P0_Despensa	2,21	2,55	1,3	5,64
P1_Quarto	16,10	2,75	9,5	44,28
P1_Escritório	13,85	2,75	8,2	38,09
P1_Hall	5,35	2,50	3,2	13,38
P1_Quarto de Banho	5,10	2,50	3,0	12,75
P1_Suite	13,90	2,70	8,2	37,53
P1_Quarto Vestir	5,80	2,50	3,4	14,50
P1_Corredor	2,10	2,50	1,2	5,25
P1_Quarto Banho Suite	3,75	2,50	2,2	9,38
TOTAL	168,920	2,809	100,0	474,45

Envolvente exterior

Paredes Exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Parede Exterior - Tipo 1	Parede dupla com isolamento térmico no espaço de ar
Ponte Térmica Plana	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	Pilares
Ponte Térmica Plana	Ponte Térmica Plana - Tipo 2	Vigas
Ponte Térmica Plana	Ponte Térmica Plana - Tipo 3	Caixas de estore

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m².°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?	Solução Incorpora PTP's?
PDE1	Parede Exterior - Tipo 1	Parede Exterior Revestida a Granito	0,37	Existente	Não	Não
PDE2	Parede Exterior - Tipo 1	Parede Exterior Rebocada e Pintada	0,37	Existente	Não	Não
PDE3	Parede Exterior - Tipo 1	Parede Interior de Separação entre Espaços Úteis e Não-Úteis	0,52	Existente	Não	Não
PTPPDE1	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	Parede Exterior em Zona de Pilar com Revestimento em Granito	0,52	Existente	Não	Não
PTPPDE2	Ponte Térmica Plana - Tipo 2	Parede Exterior em Zona de Viga com Revestimento em Granito	0,52	Existente	Não	Sim
PTPPDE3	Ponte Térmica Plana - Tipo 3	Parede Exterior em Zona de Caixa de Estore	0,14	Existente	Não	Sim

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m²)	Área envidraçada (m²)	U Solução (W/m².°C)	Área Efectiva (m²)	U referência (W/m².°C)	U máximo (W/m².°C)
PDE1	Noroeste		30,17	3,54	0,37	26,63	0,50	-
PDE1	Sudoeste		5,22	1,75	0,37	3,47	0,50	-
PDE1	Nordeste		24,31	0,96	0,37	23,35	0,50	-
PDE1	Sudeste		4,39	0,00	0,37	4,39	0,50	-
PDE2	Noroeste		54,94	10,59	0,37	44,35	0,50	-
PDE2	Sudoeste		98,50	6,53	0,37	91,97	0,50	-
PDE2	Nordeste		60,61	3,31	0,37	57,30	0,50	-
PDE2	Sudeste		79,99	6,53	0,37	73,46	0,50	-
PTPPDE2	Noroeste	PDE2	10,35	0,00	0,52	10,35	0,50	-
PTPPDE2	Sudeste	PDE2	7,65	0,00	0,52	7,65	0,50	-
PTPPDE2	Sudoeste	PDE2	7,65	0,00	0,52	7,65	0,50	-
PTPPDE2	Nordeste	PDE2	10,35	0,00	0,52	10,35	0,50	-
PTPPDE1	Noroeste	PDE1	2,25	0,00	0,52	2,25	0,50	-
PTPPDE1	Noroeste	PDE2	2,81	0,00	0,52	2,81	0,50	-
PTPPDE1	Sudeste	PDE1	2,25	0,00	0,52	2,25	0,50	-
PTPPDE1	Sudeste	PDE2	2,25	0,00	0,52	2,25	0,50	-
PTPPDE1	Sudoeste	PDE1	1,69	0,00	0,52	1,69	0,50	-
PTPPDE1	Sudoeste	PDE2	1,69	0,00	0,52	1,69	0,50	-
PTPPDE1	Nordeste	PDE1	2,81	0,00	0,52	2,81	0,50	-
PTPPDE1	Nordeste	PDE2	2,81	0,00	0,52	2,81	0,50	-
PTPPDE3	Noroeste	PDE1	0,68	0,00	0,14	0,68	0,50	-
PTPPDE3	Noroeste	PDE2	1,37	0,00	0,14	1,37	0,50	-
PTPPDE3	Sudeste	PDE1	0,24	0,00	0,14	0,24	0,50	-
PTPPDE3	Sudeste	PDE2	0,88	0,00	0,14	0,88	-	-
PTPPDE3	Sudoeste	PDE1	0,63	0,00	0,14	0,63	0,50	-
PTPPDE3	Sudoeste	PDE2	0,71	0,00	0,14	0,71	0,50	-
PTPPDE3	Nordeste	PDE2	0,98	0,00	0,14	0,98	0,50	-

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Áreas por orientação (m2)								Área Total (m²)	U Solução (W/m².°C)	U referência (W/m².°C)	U máximo (W/m².°C)
PDE1	Parede Exterior - Tipo 1	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	57,84	0,37	0,50	-
PDE2	Parede Exterior - Tipo 1	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	267,08	0,37	0,50	-
PTPPDE2	Ponte Térmica Plana - Tipo 2	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	36,00	0,52	0,50	-
PTPPDE1	Ponte Térmica Plana - Tipo 1	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	18,54	0,52	0,50	-
PTPPDE3	Ponte Térmica Plana - Tipo 3	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	5,47	0,14	0,50	-

Pavimentos Exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Pavimento Exterior - Tipo 1	Pavimento com isolamento térmico pelo interior

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U desc. Solução (W/m ² ·°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?
PVE1	Pavimento Exterior - Tipo 1	Pavimento sobre Espaço Não Útil	0,63	Existente	Não

Designação do Tipo de Solução	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m ²)	U desc. Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
PVE1		79,18	0,63	0,40	-

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Área Total (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
PVE1	Pavimento Exterior - Tipo 1	79,18	0,63	0,40	-

Coberturas Exteriores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Cobertura Exterior - Tipo 1	Cobertura horizontal com isolamento térmico pelo exterior

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U asc. Solução (W/m ² ·°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?
CBE1	Cobertura Exterior - Tipo 1	Cobertura Sandwich	0,64	Existente	Sim
CBE2	Cobertura Exterior - Tipo 1	Cobertura Terraço	0,65	Existente	Sim

Designação do Tipo de Solução	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área Total (m ²)	U asc. Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
CBE1		79,18	0,64	0,40	1,25
CBE2		26,29	0,65	0,40	1,25

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Área Total (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
CBE1	Cobertura Exterior - Tipo 1	79,18	0,64	0,40	1,25
CBE2	Cobertura Exterior - Tipo 1	26,29	0,65	0,40	1,25

Vãos Envidraçados Exteriores

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Janela	Tipo de solução caixilharia 1	Tipo de solução caixilharia 2
Envidraçado Exterior - Tipo 1	Simplex	Caixilharia plástica com vidro duplo	

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	Descrição da Proteção	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?
VE1	Envidraçado Exterior - Tipo 1	Vidro duplo de baixa emissividade (do tipo PLANITHERM FUTUR 8mm + 16mm + PLANILUX 6mm - Saint Gobain e Caixilharia em PVC	PVC	Existente	Não

(continuação)

Designação do Tipo de Solução	U _{wdn} (W/m ² ·°C)	U _{Ref} (W/m ² ·°C)	Área (m ²)	g _{LVI}	g _T
VE1	1,40	2,90	23,17	0,52	0,04

ID vão	Divisão	Designação do tipo de solução	Orientação	Área envidraçada (m ²)	Classe SEEP	ID SEEP	g _T corrigido	Área do compartimento que serve (m ²)	Área de envidraçados do compartimento que serve (m ²)	g _{Tmax}	Aenv < 5% Apav
1	P0_Sala Comum	VE1	Sudoeste	0,77			0,02	37,65	5,45	-	Não
2	P0_Sala Comum	VE1	Sudeste	4,68			0,02	37,65	5,45	-	Não
3	P0_Hall	VE1	Nordeste	1,56			0,04	6,35	1,56	-	Não
4	P0_Quarto	VE1	Noroeste	2,38			0,04	12,20	2,38	-	Não
5	P0_Cozinha e Copa	VE1	Sudoeste	0,96			0,04	18,50	2,12	-	Não
6	P1_Quarto	VE1	Noroeste	3,48			0,04	16,10	3,48	-	Não
7	P1_Escritório	VE1	Noroeste	3,48			0,04	13,85	3,48	-	Não
8	P1_Quarto de Banho	VE1	Sudoeste	0,55			0,04	5,10	0,55	-	Não
9	P1_Suite	VE1	Sudeste	1,85			0,04	13,90	1,85	-	Não
10	P0_Escada	VE1	Nordeste	1,75			0,04	9,31	1,75	-	Não

11	P1_Quarto Banho Suite	VE1	Sudoeste	0,55			0,04	3,75	0,55	-	Não
12	P0_Cozinha e Copa	VE1	Noroeste	1,16			0,04	18,50	2,12	-	Não

Vãos Opacos Exteriores

Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Vão opaco exterior - Tipo	Não aplicável

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² ·°C)
VOE1	Vão Opaco Exterior - Tipo 1	Porta em PVC Exterior	3,00

Designação do Tipo de Solução	Orientação	Área (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
VOE1	Noroeste	1,91	3,00	0,50	-

Designação do Tipo de Solução	Áreas por orientação (m2)								Área Total (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
VOE1	N 0,00	NE 0,00	E 0,00	SE 0,00	S 0,00	SO 0,00	O 0,00	NO 1,91	1,91	3,00	0,50	-

Pavimentos Têrreos

Tipo de Solução

Pavimentos Enterrados

Tipo de Solução



Designação	Profundidade, Z (m)	Área (m ²)	U (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)

Paredes Enterradas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução

Tipo de Solução	Descrição Detalhada	Área Total (m ²)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?	Solução Incorpora PTP's?



Designação	Profundidade, Z (m)	Área (m ²)	U (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)

Pontes Térmicas Lineares Exteriores



Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Método	Comprimento (m)	Psi solução (w/m·°C)	Psi referência (w/m·°C)
PTLE1	Fachada com pavimento de nível intermédio	Valores Tabelados	39,2	0,75	0,50
PTLE2	Fachada com varanda	Valores Tabelados	7,96	0,55	0,50
PTLE3	Fachada com cobertura e isolamento sobre a laje de cobertura	Valores Tabelados	57,59	1,00	0,50
PTLE4	Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	Valores Tabelados	85,36	0,10	0,20
PTLE5	Zona de caixa de estores	Valores Tabelados	21,59	0,30	0,20

Envolvente Interior

Definição da Envolvente Interior

Aplicação da regra de simplificação relativa à determinação do coeficiente de redução de perdas de ENU?

¹⁰⁰⁾ Ventilação fraca do espaço não útil se este tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas e ventilação forte do espaço não útil se este é permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Cálculo do btr de acordo com a norma 13789?	b _{tr} calculado	A _i /A _e	Volume do ENU m ³	Ventilação (10)	b _{tr}
Edifício Adjacente			-	-	-	0,60
Lavandaria	Não		1 ≤ A _i /A _e < 2	V ≤ 50	Forte	0,80
Desvão Sanitário	Não		A _i /A _e < 0,5	V ≤ 50	fraca	1,00
						-

Paredes interiores - Soluções correntes, pontes térmicas planas e vãos opacos

Parede Interior, Ponte Térmica Plana ou Vão Opaco?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Parede Interior - Tipo 1	Parede dupla com isolamento térmico no espaço de ar

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² ·°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?	Solução Incorpora PTP's?
PDI1	Parede Interior - Tipo 1	Parede Interior de Separação entre Espaços Úteis e Não Úteis	0,52	Existente	Não	Não

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área (m ²)	Área envidraçada (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	Área Efectiva (m ²)	URef (W/m ² ·°C)	UMáx (W/m ² ·°C)
PDI1	Lavandaria	0,80		8,28	0,00	0,52	8,28	0,50	-

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Designação do Tipo de Solução	btr	Área por btr (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)	UMáx (W/m ² ·°C)
PD11	0,80	8,28	0,52	0,50	-

Pavimentos Interiores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução
Solução Corrente	Pavimento Interior - Tipo 1	Pavimento com isolamento térmico pelo interior

Designação do Tipo de Solução	Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² ·°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?
PV11	Pavimento Interior - Tipo 1	Pavimento Interior Sobre Desvão Sanitário (Piso 0)	0,63	Existente	Não

Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área Total (m ²)	Udesc (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)	UMáx (W/m ² ·°C)
PV11	Desvão Sanitário	1,00		102,3	0,63	0,40	-

Designação do Tipo de Solução	btr	Área Total (m ²)	U Solução (W/m ² ·°C)	U referência (W/m ² ·°C)	U máximo (W/m ² ·°C)
PV11	1,00	102,25	0,63	0,40	-

Coberturas Interiores - Soluções correntes e pontes térmicas planas

Solução corrente ou Ponte Térmica Plana?	Identificação do Tipo de Solução	Tipo de Solução

--	--	--

Tipo de Solução	Descrição Detalhada	U Solução (W/m ² ·°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?



Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Qual a solução corrente adjacente associada?	Área Total (m ²)	U (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)	UMáx (W/m ² ·°C)

Vãos Envidraçados Interiores

Tipo de Janela	Tipo de solução caixilharia 1	Tipo de solução caixilharia 2

Tipo de Solução	Descrição Detalhada	Descrição da Protecção	Uwdn (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)	Zona ampliada ou Existente?	Sujeita a intervenção?



Localização	Designação do Tipo de Solução	Espaço não útil	btr	Área (m ²)	Uwdn (W/m ² ·°C)	URef (W/m ² ·°C)

Pontes Térmicas Lineares Interiores



Designação da Solução	Espaço não útil	btr	Tipo de Solução	Método	Comprimento (m)	Psi solução (w/m·°C)	Psi referência (w/m·°C)
PTU1	Desvão Sanitário	1	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido com isolamento sobre o pavimento	Valores Tabelados	42,79	0,35	0,5

Ventilação



Sistema de Ventilação	De acordo com a norma 1037-1
-----------------------	------------------------------

Foi medido o valor n_{50} ?

☐ Sim ☒ Não

Tem aberturas de admissão de ar na fachada? ☒ Sim ☐ Não

Tipo de Abertura				
Fixa ou regulável manualmente	<input type="checkbox"/>	Área Livre (cm ²)		
Auto-regulável a 2Pa	<input type="checkbox"/>	Caudal (m ³ /h)		
Auto-regulável a 10Pa	<input checked="" type="checkbox"/>	Caudal (m ³ /h)	345	
Auto-regulável a 20Pa	<input type="checkbox"/>	Caudal (m ³ /h)		

Existem condutas de ventilação natural sem obstruções significativas? ☐ Sim ☒ Não

Existem meios mecânicos? ☒ Sim ☐ Não

Qual o tipo de escoamento de ar?	Só Exaustão
Qual a potência dos ventiladores (W)?	195

Existem meios híbridos? ☐ Sim ☒ Não

É possível efetuar arrefecimento noturno com janelas? ☒ Sim ☐ Não

Rph Estimada (h ⁻¹)	Rph mínimo (h ⁻¹)	Rph, i (h ⁻¹)	Rph, v (h ⁻¹)
Effectuar o cálculo na ferramenta desenvolvida pelo LNEC designada " APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH E RECS "			
0,48	0,40	0,84	0,84
Caract. restantes			
276			
Descrição da Solução de Ventilação			

Exportação/Importação de dados para a APLICAÇÃO LNEC - VENTILAÇÃO REH

Sistemas Técnicos

Existem Sistema Técnicos? ☒ Sim ☐ Não

O edifício dispõe de abastecimento de combustível líquido ou gasoso? ☒ Sim ☐ Não

Tipologia de abastecimento Gás Natural

Existe aplicação de isolamento térmico na tubagem de distribuição de AQ5 com resistência térmica $\geq 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ☐ Sim ☒ Não

Os chuveiros ou sistemas de duche da fracção possuem certificado de eficiência hídrica com rótulo A ou superior? ☒ Sim ☐ Não

Identificação do Sistema	Fonte de Energia	Tipo de Equipamento	Nº de unidades iguais	Marca	Gama	Modelo	Foi possível aceder ao equipamento?	Descrição Específica do Equipamento

Sistema 1	Gás Natural	Caldeira	1				Não	
Sistema 2	Gás Natural	Caldeira	1				Não	

Electricidade, Gás (natural, propano, butano), Gasóleo, Biomassa (sólida, líquida, gasosa)

Identificação do Sistema	Função	Potência (kW)	Informação sobre eficiência?	Eficiência do Equipamento (0 a 6)	Fracção servida (0 a 1)	Idade do sistema	Eficiência do Equipamento (0 a 6)	Eficiência de referência	EREN (kWh/ano)	EREN ext (kWh/ano)	Consumo Energia Final (kWh/ano)	Perda Estática (QPR) Solução	Perda Estática (QPR) Máximo
Sistema 1	Águas Quentes Sanitárias			0,87	1,00		0,87	0,86	-		2459,26		
Sistema 2	Aquecimento	25		0,87	1,00		0,87	0,86	-		16631,13		
									-				

Solar, Eólica, Hídrica, Geotérmica

Identificação do Sistema	Função	Potência (kW)	EREN (kWh/ano)	Parcela afectada à Função (0 a 1)	EREN ext (kWh/ano)	Área Total de Coletores (m ²)	Produtividade (kWh/m ²) Coletores	Produtividade de referência (kWh/m ²) Coletores	Produtividade (Wh/Wp)	Caudal Médio (m ³ /s)	Rendimento Nominal Turbina	Rendimento Nominal Gerador	Parcela das necessidades	Necessidades de Energia Final kWh/ano

Informação adicional - sistemas técnicos

Identificação do Sistema	Data de instalação Equipamento/ Sistema	Designação Comercial do Instalador	Telefone do Instalador	Email do Instalador	Registo de manutenção do sistema?	Data da Manutenção
Sistema 1					Não	
Sistema 2					Não	

Balanco energético

Indicadores energéticos

Sigla	Descrição	Valor	Referência
-------	-----------	-------	------------

Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m2.ano)	85,66	90,32	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m2.ano)	0,46	9,13	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2140	2377	Ntc/Nt 0,87
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		0,00	
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	0		Classe Energética
Eren,ext	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)		0,00	
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh/m2.ano)	113,01	129,54	B-

Indicadores de desempenho

	Valor de Referência (kWh/m2.ano)	Valor do Edifício (kWh/m2.ano)	Renovável (%)
Aquecimento	105,02	98,46	0,00
Arrefecimento	3,26	0,00	0,00
AQS	16,36	14,56	0,00
Energia Renovável (%)	0,00	Emissões de CO2 (t/ano)	3,86

Dados Climáticos

Graus-dia	1 282		
Zona Climática de Inverno	I1	Zona Climática de Verão	V2
Temperatura Média Exterior Inverno (°C)	9,8	Temperatura Média Exterior Verão (°C)	20,9
Duração da estação de aquecimento (meses)	6,2	Duração da estação de arrefecimento (meses)	4,0

Indicadores de aquecimento

Paredes (W/°C)			PTP (W/°C)		Portas (W/°C)		PTL (W/°C)	
Hext	Henu,adj	Hecs	Hext	Henu,adj	Hext	Henu,adj	Hext	Henu,adj
120,22	3,44	0,00	35,95	0,00	5,73	0,00	106,38	14,98
Coberturas (W/°C)			Pavimentos (W/°C)		Vãos envidraçados (W/°C)		Renovação de Ar (W/°C)	

Hext	Henu,adj	Hext	Henu,adj	Hecs	Hext	Henu,adj	Hve
67,76	0,00	49,88	64,42	0,00	32,44	0,00	135,50

Indicadores de arrefecimento

Paredes (kWh)	Coberturas		Portas (kWh)	Vãos Envidraçados (kWh)	Ganhos Internos (kWh)
Qsol,v EXT	Qsol,v EXT	Qsol, Desv	Qsol,v EXT	Qsol,v EXT	Qint,v
121,15	384,44	0,00	31,00	1030,37	1978,39

Medidas de Melhoria

Este CE/PCE inclui Medidas de Melhoria?

☐ Sim ☒ Não

Justificação para a ausência de Medidas de Melhoria

Documentos

Notas e Observações

	Caract. restantes 2048
--	---------------------------

Sistemas

☐ O edifício dispõe de rede de abastecimento de combustível líquido ou gasoso? Sim Qual? Gás Natural

☐ Existe aplicação de isolamento na tubagem de distribuição de AQS com resistência térmica $\geq 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{C/W}$? Não

☐ Os chuveiros ou sistemas de duche da fracção possuem certificado de eficiência hídrica com rótulo A ou superior? Sim

⁽¹⁾ caso o edifício se encontre abrangido pela rede urbana CLIMAESPAÇO devem ser considerados os sistemas por defeito.

AQUECIMENTO Designação do Sistema	Tipo de Equipamento ⁽¹⁾	Fonte de energia associada	Existe informação?	Eficiência Nominal	Fracção servida %	Idade do Sistema	Eficiência Base	Eficiência Corrigida
Sistema 2	Caldeira a combustível líquido ou gasoso	Gás Natural		0,87	100		-	-
							-	-
							-	-
							-	-
							-	-
Sistema por defeito		Electricidade		1	0	Novo		1

ARREFECIMENTO Designação do Sistema	Tipo de Equipamento ⁽¹⁾	Fonte de energia associada	Existe informação?	Eficiência Nominal	Fracção servida %	Idade do Sistema	Eficiência Base	Eficiência Corrigida
							-	-
							-	-
							-	-
							-	-
							-	-
Sistema por defeito		Electricidade		2,80	100	Novo		2,80

PRODUÇÃO DE AQS Designação do Sistema	Tipo de Equipamento ⁽¹⁾	Fonte de energia associada	Existe informação?	Eficiência Nominal	Fracção servida %	Idade do Sistema	Eficiência Base	Eficiência Corrigida
Sistema 1	Caldeira a combustível líquido ou gasoso	Gás Natural		0,87	100		-	-
							-	-
							-	-
							-	-
							-	-
Sistema por defeito		Gás Natural		0,86	0	Novo		0,86

ENERGIA RENOVÁVEL PRODUZIDA PARA CONSUMO Designação do Sistema	Fonte de Energia Renovável	Térmica ou eléctrica?	Contribuição Anual E_{ren} kWh/ano	Parcela p/ aquecimento %	Parcela p/ arrefecimento %	Parcela p/ AQS %	Parcela p/ Ventilação %

Ventilação - [EFFECTUAR CÁLCULO NA FERRAMENTA DESENVOLVIDA PELO INEC DESIGNADA " APLICAÇÃO INEC - VENTILAÇÃO REH E RECS"

☐ Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento $R_{a,i}$ 0,84 h^{-1}

☐ Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento $R_{a,e}$ 0,84 h^{-1}

☐ Existe sistema de ventilação mecânica em funcionamento contínuo? Não

Envolve Exterior:

⁽¹⁾ A caixa-de-ar de considera-se fortemente ventilada se $A \geq 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$
⁽²⁾ A face interior do revestimento exterior é de baixa emissividade se $\epsilon \leq 0,2$

PAREDES EXTERIORES Descrição	Orientação	Cor	Fachada Ventilada?	Grau de ventilação ⁽¹⁾	Emissividade ⁽²⁾	Área m^2	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β_{esq}	Pala vertical à direita β_{dir}	U $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$	U_{REF} $\text{W/m}^2 \cdot \text{C}$
PDE1	Noroeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	26,63	0	0	0	0,37	0,50
PDE1	Sudoeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	3,47	0	0	0	0,37	0,50
PDE1	Nordeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	23,35	0	0	0	0,37	0,50
PDE1	Sudeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	4,39	0	0	0	0,37	0,50
PDE2	Noroeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	44,35	0	0	0	0,37	0,50
PDE2	Sudoeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	91,97	0	0	0	0,37	0,50
PDE2	Nordeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	57,30	0	0	0	0,37	0,50
PDE2	Sudeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	73,46	0	0	0	0,37	0,50
PTPPDE2	Noroeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	10,35	0	0	0	0,70	0,50
PTPPDE2	Sudeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	7,65	0	0	0	0,70	0,50
PTPPDE2	Sudoeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	7,65	0	0	0	0,70	0,50

PTPDE2	Nordeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	10,35	0	0	0	0,70	0,50
PTPDE1	Noroeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	2,25	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Noroeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	2,81	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Sudeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	2,25	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Sudeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	2,25	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Sudoeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	1,69	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Sudoeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	1,69	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Nordeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	2,81	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE1	Nordeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	2,81	0	0	0	0,52	0,50
PTPDE3	Noroeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	0,68	0	0	0	0,19	0,50
PTPDE3	Noroeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	1,37	0	0	0	0,19	0,50
PTPDE3	Sudeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	0,24	0	0	0	0,19	0,50
PTPDE3	Sudeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	0,88	0	0	0	0,19	0,50
PTPDE3	Sudoeste	Escura	Sim	Fracamente	Baixa	0,63	0	0	0	0,19	0,50
PTPDE3	Sudoeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	0,71	0	0	0	0,19	0,50
PTPDE3	Nordeste	Clara	Sim	Fracamente	Baixa	0,98	0	0	0	0,19	0,50
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PAVIMENTOS EXTERIORES	Área	U _{ascendente}	U _{REF}
Descrição	m ²	W/m ² .°C	W/m ² .°C
PVE1	79,18	0,63	0,40
	-	-	-

COBERTURAS EXTERIORES	Cor	Revestimento com caixa-de-ar ventilada?	Grau de ventilação ^(II)	Emissividade ^(II)	Área	U _{ascendente}	U _{descendente}	U _{REF}
Descrição					m ²	W/m ² .°C	W/m ² .°C	W/m ² .°C
CBE1	Escura	Sim	Fortemente	Normal	79,18	0,64	0,61	0,40
CBE2	Média	Não			26,29	0,65	0,62	0,40
	-	-	-	-	-	-	-	-

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Orientação	Área	Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede?	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte oh	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β _{esq}	Pala vertical à direita β _{dir}	U _{win}	U _{REF}
Descrição		m ²			°	°	°	°	W/m ² .°C	W/m ² .°C
1 (VE1)	Sudoeste	0,77	Não	Duplo	0	49	0	58	1,40	2,90
2 (VE1)	Sudeste	4,68	Não	Duplo	0	74	46	70	1,40	2,90
3 (VE1)	Nordeste	1,56	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
4 (VE1)	Noroeste	2,38	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
5 (VE1)	Sudoeste	0,96	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
6 (VE1)	Noroeste	3,48	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
7 (VE1)	Noroeste	3,48	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
8 (VE1)	Sudoeste	0,55	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
9 (VE1)	Sudeste	1,85	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
10 (VE1)	Nordeste	1,75	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
11 (VE1)	Sudoeste	0,55	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
12 (VE1)	Noroeste	1,16	Não	Duplo	0	0	0	0	1,40	2,90
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(continuação)

^(III) Factor solar do vidro para uma incidência normal ao vão.

^(IV) Factor solar global do vão com todos os dispositivo de proteção solar permanentes ou móveis totalmente ativados (para uma incidência normal à superfície). Caso não existam é igual ao factor solar do vidro.

^(V) Factor solar global do vão com todos os dispositivo de proteção solar permanentes totalmente ativados (para uma incidência normal à superfície). Caso não existam é igual ao factor solar do vidro.

VÃO ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Classe da Caixilharia	Permeabilidade da Caixa de Estore	Fracção Envidraçada Fg	Factor Solar do vidro g _{l,w}	FS Global Prot. Perm. e Móveis g _{l,T}	FS Global Prot. Perm. g _{l,Tp}	FS de Inverno g _i	FS de Verão g _v	FS de Verão de Referência g _{REF}
1 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,16	0,40
2 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,16	
3 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,28	
4 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,28	
5 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,16	
6 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,28	
7 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,28	
8 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,16	
9 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,16	
10 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,28	
11 (VE1)	3	Perm. Baixa	0,65	0,52	0,04	0,52	0,47	0,16	
12 (VE1)				0,52	0,04		0,00	0,02	
							-	-	

(continuação)

VÃOS OPACOS EXTERIORES	Orientação	Cor	Área	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β _{esq}	Pala vertical à direita β _{dir}	U	U _{REF}
Descrição			m ²	°	°	°	W/m ² .°C	W/m ² .°C
VOE1	Noroeste	Escura	1,91	74	78	0	3,00	0,50
	-	-	-	-	-	-	-	-

Elementos em contacto com o solo - CÁLCULO DE ACORDO COM A EN13370-2007

Qual o valor da condutibilidade térmica do solo λ ^(VII) ?	2,0	W/(m.°C)
--	-----	----------

^(VII) A Norma EN 13370 recomenda o uso de λ=2,0 W/(m.°C) se a condutibilidade térmica do solo é desconhecida.

^(VIII) Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z=0) com ou sem isolamentos térmico perimetral.

PAVIMENTOS TÊRREOS z=0 ^(VII)	Área	R _f	Perímetro Exposto P	Espessura da parede exposta w	Isolamento Perimetral?	Horizontal ou Vertical?	Espessura do Isol. dn	Extensão de Isol. D	U _{ext}	U _{ext,REF}
Descrição	m ²	m ² .°C/W	m	(m)			m	m	W/m ² .°C	W/m ² .°C

									0,50
PAVIMENTOS ENTERRADOS (≥ 0)	Área	Profundidade média z	R_4	Perímetro Exposto P	Espessura da parede exposta w	$U_{w,4}$	$U_{w,REF}$		
Descrição	m ²	m	m ² ·°C/W	m	(m)	W/m ² ·°C	W/m ² ·°C		0,50
	-					-	-		
PAREDES ENTERRADAS	Área	Profundidade média z	R_w	R_f	Espessura da parede exposta w	$U_{w,w}$	$U_{w,REF}$		
Descrição	m ²	m	m ² ·°C/W	m ² ·°C/W	(m)	W/m ² ·°C	W/m ² ·°C		0,50
						-	-		

Pontes Térmicas Lineares (envolvente exterior)

^[68] Note-se que, em ligações de fachada com pavimento intermédio ou varanda os valores tabelados do coeficiente de transmissão térmica linear Ψ apresentados dizem respeito a METADE da ligação global, correspondendo apenas à perda no andar superior ou no andar inferior.

TIPO DE LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	Comp. B ^[69] m	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado W/m·°C	Informações adicionais			Sistema de isolamento nas paredes	Ψ W/m·°C	Ψ_{REF} W/m·°C
Fachada com pavimento intermédio	39,20	Valores Tabelados		-	-	c/ tecto falso	Repartido na caixa-de-ar	0,75	0,5
Fachada com varanda	7,96	Valores Tabelados		-	-	-	Repartido na caixa-de-ar	0,55	0,5
Fachada com cobertura	57,59	Valores Tabelados		Isol. sob/sobre o cobertura?	Sobre	c/ tecto falso	Repartido na caixa-de-ar	1,00	0,5
Fachada com caixilharia	85,36	Valores Tabelados		Isol. contacta com a caixilharia?	Contacta	-	Repartido na caixa-de-ar	0,10	0,2
Zona da caixa de estores	21,59	Valores Tabelados		-	-	-	Repartido na caixa-de-ar	0,30	0,2
				-	-	-		-	-

Definição da Envolvente Interior

^[69] Ventilação fraca do espaço não útil se este tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas e ventilação forte do espaço não útil se este é permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Cálculo do btr de acordo com a norma 13789?	b_{tr} calculado	A/A_0	Volume do ENU m ³	Ventilação ^[69]	b_{tr}
Edifício Adjacente			-	-	-	0,60
Lavandaria	Não					0,80
Desvão Sanitário	Não					1,00
						-

Envolvente Interior

PARQUES INTERIORES	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	U W/m ² ·°C	U_{REF} W/m ² ·°C
Descrição				
PDI1	Lavandaria	8,28	0,52	0,50
				-
PARQUES INTERIORES EM CONTACTO COM EDIFÍCIO ADJACENTE	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	U W/m ² ·°C	U_{REF} W/m ² ·°C
Descrição				
				-
PAVIMENTOS INTERIORES	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	$U_{descendente}$ W/m ² ·°C	U_{REF} W/m ² ·°C
Descrição				
PVI1	Desvão Sanitário	102,25	0,63	0,40
			-	-

^[69] A caixa-de-ar de considera-se fortemente ventilada se $A \geq 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ e considera-se fracamente ventilada se $500 \text{ mm}^2/\text{m}^2 > A \geq 1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$; ^[69] baixa emissividade se $\epsilon \leq 0,2$

CAMPOS A PREENCHER APENAS PARA O CASO DE COBERTURAS EM DESVÃO									
COBERTURAS INTERIORES	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área da cob. interior m ²	$U_{descendente}$ W/m ² ·°C	Área da cob. exterior m ²	Cor da cob. Exterior	Grau de ventilação ^[69]	Emissividade ^[69]	$U_{descendente}$ W/m ² ·°C	U_{REF} W/m ² ·°C
Descrição									-

^[69] Na ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO considera-se que os elementos opacos da envolvente exterior do ENU causam sombreamento ao vão interior; ^[69] Na ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO assume-se que a envolvente exterior do ENU não provoca sombreamento ao vão interior.

				ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO (xii)				ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO (xiii)			
Vãos ENVIDRAÇADOS INTERIORES EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.	Orientação	Área m ²	Vão Envidraçado à Face Exterior da Parede?	Tipo de vidro	Obstrução do Horizonte α_h	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β_{esq}	Pala vertical à direita β_{dir}	Pala horizontal α	Pala vertical à esquerda β_{esq}	Pala vertical à direita β_{dir}
Descrição					*	*	*	*	*	*	*

Vãos ENVIDRAÇADOS INTERIORES EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Vão interior em contacto c/ ENU				Vão exterior do ENU				U_{REF} W/m ² ·°C
Descrição		Factor Solar do vidro $g_{v,i,ext}$	FS Global Prot. Perm. e Móveis $g_{t,i,ext}$	FS Global Prot. Perm. $g_{t,p,int}$	Fracção Envidraçada $f_{g,int,int}$	$U_{v,i,ext}$ W/m ² ·°C	Factor Solar do vidro $g_{v,e,ENU}$	FS Global Prot. Perm. $g_{t,p,ENU}$	Fracção Envidraçada $f_{g,e,ENU}$	-

Vãos ENV. INTERIORES EM CONTACTO COM OUTROS ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Área m ²	$U_{v,i,ext}$ W/m ² ·°C	U_{REF} W/m ² ·°C
Descrição				-

Pontes Térmicas Lineares (envolvente interior)

^[69] Note-se que, em ligações de fachada com pavimento intermédio ou varanda os valores tabelados do coeficiente de transmissão térmica linear Ψ apresentados dizem respeito a METADE da ligação global, correspondendo apenas à perda no andar superior ou no andar inferior.

TIPO DE LIGAÇÃO ENTRE ELEMENTOS	ESPAÇO NÃO-ÚTIL	Comprimento B ^[69] m	Cálculo de acordo com?	Ψ calculado W/m·°C	Informações adicionais		Sistema de isolamento nas paredes	Ψ W/m·°C	Ψ_{REF} W/m·°C
---------------------------------	-----------------	------------------------------------	------------------------	----------------------------	------------------------	--	-----------------------------------	------------------	------------------------

Fach. com pavimento sobre o exterior ou ENU	Desvão Sanitário	42,79	Valores Tabelados		Isol. sob/sobre o pavimento?	Sobre	-	Repartido na caixa-de-ar	0,35	0,5
					-				-	-

INÉRCIA TÉRMICA

EL1 - Elementos da envolvente exterior

Paredes exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDE1	26,63	180,00	150,00	1,00	3994,50
PDE1	3,47	180,00	150,00	1,00	520,50
PDE1	23,35	180,00	150,00	1,00	3502,50
PDE1	4,39	180,00	150,00	1,00	658,50
PDE2	44,35	180,00	150,00	1,00	6652,50
PDE2	91,97	180,00	150,00	1,00	13795,50
PDE2	57,30	180,00	150,00	1,00	8595,00
PDE2	73,46	180,00	150,00	1,00	11019,00
PTPPDE2	10,35	390,00	150,00	1,00	1552,50
PTPPDE2	7,65	390,00	150,00	1,00	1147,50
PTPPDE2	7,65	390,00	150,00	1,00	1147,50
PTPPDE2	10,35	390,00	150,00	1,00	1552,50
PTPPDE1	2,25	180,00	150,00	1,00	337,08
PTPPDE1	2,81	180,00	150,00	1,00	421,35
PTPPDE1	2,25	180,00	150,00	1,00	337,08
PTPPDE1	2,25	180,00	150,00	1,00	337,08
PTPPDE1	2,25	180,00	150,00	1,00	337,08
PTPPDE1	1,69	180,00	150,00	1,00	252,81
PTPPDE1	1,69	180,00	150,00	1,00	252,81
PTPPDE1	2,81	180,00	150,00	1,00	421,35
PTPPDE1	2,81	180,00	150,00	1,00	421,35
PTPPDE3	0,68	180,00	150,00	1,00	101,25
PTPPDE3	1,37	180,00	150,00	1,00	205,50
PTPPDE3	0,24	180,00	150,00	1,00	35,63
PTPPDE3	0,88	180,00	150,00	1,00	131,25
PTPPDE3	0,63	180,00	150,00	1,00	93,75
PTPPDE3	0,71	180,00	150,00	1,00	106,88
PTPPDE3	0,98	180,00	150,00	1,00	146,25
TOTAL					57739,41

Pavimentos exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PVE1	79,18	120,00	120,00	1,00	9501,30
TOTAL					9501,30

Coberturas exteriores

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
-------------------------------	------------------------	----------------------------------	-----	---	---------

INÉRCIA TÉRMICA

CBE1	79,18	360,00	150,00	1,00	11877,00
CBE2	26,29	380,00	150,00	1,00	3943,50
TOTAL					15820,50

EL1 - Elementos da envolvente interior

Paredes em contacto com espaços não úteis

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PDI1	8,28	180,00	150,00	1,00	1241,25
TOTAL					1241,25

Paredes em contacto com edifícios adjacentes

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
TOTAL					0,00

Pavimentos sobre espaços não úteis

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
PVI1	102,25	308,00	150,00	1,00	15337,50
TOTAL					15337,50

Coberturas interiores (sob espaços não úteis)

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
TOTAL					0,00

EL1 - Elementos em contacto com outra fracção autónoma

Paredes em contacto com outra fracção autónoma

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00

INÉRCIA TÉRMICA

			0,00		0,00
TOTAL					0,00

Pavimentos em contacto com outra fracção autónoma

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
			0,00		0,00
TOTAL					0,00

EL2 - Elementos da envolvente em contacto com o solo

Paredes enterradas

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
TOTAL					0,00

Pavimentos enterrados

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
TOTAL					0,00

Pavimentos térreos

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
TOTAL					0,00

EL3 - Elementos de compartimentação

Paredes de compartimentação

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
Parede tij. 11 - Piso 0	38,92	220,00	150,00	1,00	5837,78
Parede tij. 15 - Piso 0	27,90	400,00	150,00	1,00	4185,50
Parede tij. 7 - Piso 1	15,68	170,00	150,00	1,00	2352,00

INÉRCIA TÉRMICA

Parede tij. 11 - Piso 1	46,70	220,00	150,00	1,00	7005,60
Parede tij. 15 - Piso 1	23,94	400,00	150,00	1,00	3591,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
TOTAL					22971,87

Pavimentos de compartimentação

Designação do tipo de solução	Área (m ²)	Massa total (kg/m ²)	Msi	r	A*Msi*r
Piso 2	79,18	380,00	150,00	1,00	11877,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
					0,00
TOTAL					11877,00

It 796,17

Classe de inércia térmica Forte

FICHA N.º 1
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO
DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)
(nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de Vila do Conde

Edifício

Empreendimento: _____ Nº de frações: _____
Morada: _____
Freguesia: _____ Concelho: Vila do Conde

Tipo de intervenção

☐ Edifício Novo ☒ Grande intervenção
(a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m ²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
0	168,92	2,81	T3

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m ² .ano))	Ni (kWh/(m ² .ano))	Nvc (kWh/(m ² .ano))	Nv (kWh/(m ² .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano))	Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano))	E _{ren,p} (kWh/ano)(*)	E _{ren,ext} (kWh/ano)(**)
0	0,48	85,66	90,32	0,46	9,13	2140	113,01	129,54	0	0

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: 0
Inscrito na: Ordem dos Engenheiros Número de inscrição: 0
Assinatura: _____

[illegible]

VÃOS OPACOS EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C	VÃOS OPACOS EXTERIORES	Área A m ²	U W/m ² .°C	U.A W/°C
VOE1	1,91	3,00	5,73	VOE1	1,91	0,50	0,96
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
TOTAL			5,73				0,96

[illegible]

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} 408,24 W/°C

A.7 - ENVOLVENTE INTERIOR

[illegible]

	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL				0,00				TOTAL	0,00
PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m²	U W/m².°C	b _{ir}	U.A.b _{ir} W/°C	PAVIMENTOS SOBRE ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m²	U W/m².°C	h _{e,r}	U.A.b _{e,r} W/°C
PVI1	102,25	0,63	1,00	64,42	PVI1	102,25	0,40	1,00	40,90
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
TOTAL				64,42				TOTAL	40,90
COBERTURAS INTERIORES (SOB ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS)	Área A m²	U W/m².°C	b _{ir}	U.A.b _{ir} W/°C	COBERTURAS INTERIORES (SOB ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS)	Área A m²	U W/m².°C	h _{e,r}	U.A.b _{e,r} W/°C
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
TOTAL				0,00				TOTAL	0,00
VÃOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m²	U W/m².°C	b _{ir}	U.A.b _{ir} W/°C	VÃOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A m²	U W/m².°C	h _{e,r}	U.A.b _{e,r} W/°C
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
	-	-	-	-		-	-	-	-
TOTAL				0,00				TOTAL	0,00

[illegible]

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} 65,61 W/°C

A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO				A.8 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO			
PAREDES ENTERRADAS	Área m ²	U _{bw} W/m ² .°C	A.U _{bw} W/°C	PAREDES ENTERRADAS	Área m	U _{bw} W/m ² .°C	A.U _{bw} W/°C
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
	-	-	-		-	-	-
		TOTAL	0,00			TOTAL	0,00

PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).</i>	Área m ²	U _{ef} W/m ² .°C	A.U _{ef} W/°C	PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).</i>	Área m	U _{ef} W/m ² .°C	A.U _{ef} W/°C
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			0,00	TOTAL			0,00

PAVIMENTOS TÊRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z su) com ou sem isolamento térmico perimetral</i>	Área m ²	U _f W/m ² .°C	A.U _f W/°C	PAVIMENTOS TÊRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z su) com ou sem isolamento térmico perimetral</i>	Área m	U _f W/m ² .°C	A.U _f W/°C
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			0,00	TOTAL			0,00

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ec3} W/°C

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ec3 REF} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{intu} + H_{adj} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3} W/°C
=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext REF} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{intu REF} + H_{adj REF} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3 REF} W/°C
=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr REF} W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{intu} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3} W/°C
=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext REF} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{intu REF} W/°C
+

Coefficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec3 REF} W/°C
=

Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr REF} W/°C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &1 \\
 &- \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,I} &= 0 \\
 &\times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\div \\
 R_{ph,I} \cdot A_p \cdot P_d &= 398,53 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1,00 \\
 &\times \\
 &0,34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,I} &= 0,84 \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2,81 \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,I} &= 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &0,34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,I \text{ REF}} &= 0,60 \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2,81 \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,I \text{ REF}} &= 96,79 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &1 \\
 &- \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,V} &= 0 \\
 &\times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &\div \\
 R_{ph,V} \cdot A_p \cdot P_d &= 398,53 \text{ m}^3/\text{h} \\
 &= \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1,00 \\
 &\times \\
 &0,34 \\
 &\times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,V} &= 0,84 \text{ h}^{-1} \\
 &\times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p &= 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 2,81 \text{ m} \\
 &= \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,V} &= 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo C

GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS INTERNOS

	0,72	
	x	
Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
	x	
Duração da estação de aquecimento M	6,24	meses
	x	
Área útil de pavimento A_p	168,92	m ²
	=	
Ganhos internos brutos Q_{int}	3035,70	kWh/ano

C.2 - GANHOS SOLARES

[illegible][illegible]

Em nenhum caso o produto $X_f \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f$ deve ser menor que 0,27;
Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_o \cdot F_f$ deve ser inferior ou igual a 0,9, excepto nos casos em que o vão envidraçado esteja à face exterior da parede.

[illegible]

No cálculo de g_{LITE} e g_{LNU} não deverão ser considerados os dispositivos de protecção solar móveis devendo considerar-se apenas dispositivos permanentes; caso não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, g_{LNU} será igual ao factor solar do vidro para uma incidência solar normal g_{LNU} , afectado do factor de seletividade angular $F_{w, \text{LNU}}$.

Área efectiva total equivalente na orientação a Sul

2,59

 m²

Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul}	130	kWh/m ² .mês
---	-----	-------------------------

Duração da estação de aquecimento M $\frac{6,24}{x}$ meses

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$	2098,88	kWh/ano
-----------------------------------	---------	---------

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	3035,70	kWh/ano
------------------------------------	---------	---------

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ 2098,88 kWh/ano



ITeCons

Instituto de Investigação e Desenvolvimento
Tecnológico em Ciências da Construção



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ 5134,58 kWh/ano

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul G_{sul} 130 kWh/m².mês

x

0,182

x

0,2

x

Área útil de pavimento A_p 168,92 m²

=

Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ 799,33 kWh/ano

+

Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$ 3035,70 kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$ 3835,024544 kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

Ganhos internos médios q_{int}	4	W/m ²
Idade da estação de arrefecimento L_v	2928	horas
Área útil de pavimento A_u	168,92	m ²
	÷	
	1000	
	=	
Ganhos internos brutos $Q_{G_{int,br}}$	1978,39	kWh/ano

VÃOS ENVIDRACADOS

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA

PAREDE EXTERIOR	Orientação	Coeficiente de absorção α	Área A_{so}	U	R_{se}	Área efectiva	Factor de Obstrução	Intensidade da	$I_{so}: F_{a}: A_i$
						$A_e = \alpha \cdot U \cdot A_{so} \cdot R_{se}$	$F_o = F_{a_o} \cdot F_i$	Radiação I_{sd}	
			m ²	W/m ² .°C	(m ² .°C)/W	m ²		kWh/m ² .ano	kWh/ano
PDE1	Noroeste	0,08	26,63	0,37	0,03	1,00	350,00	11,04	
PDE1	Sudoeste	0,08	3,47	0,37	0,00	1,00	490,00	2,01	
PDE1	Nordeste	0,08	23,35	0,37	0,03	1,00	350,00	9,68	

[illegible]

[illegible]

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada	1030,37	kWh/ano
---	---------	---------

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca 536,59 kWh/ano

Ganhos Solares brutos $Q_{sol,v}$	1566,96	kWh/ano
-----------------------------------	---------	---------

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos $Q_{\text{int},v}$ 1978,39 kWh/ano

Carbons released by heating 0 1566.06 10446 / g dry wt

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	1566,96	kwh/ano
	=	

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ 3545,35 kWh/ano

D.5 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Ganhos internos médios q_{int} 4 W/m^2

$$\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v = \frac{X}{2928} \text{ horas}$$

$$\frac{1}{1000}$$

1000
+

factor solar de verão de referência g_{vREF}	0,43
	X

$$A_w/A_p \text{ REF} \quad 0.2^2$$

Radiação solar média de referência $I_{sol REF}$ 490 kWh/m².ano

$$= 53,85 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

	X	
Área útil do Documento A	160,03	2

Área útil de Pavimento A_p 168,92 m^2

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{G, v REF}$ 9096,63 kWh/ano

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} = 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} = 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} = 636,70 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} = 473,84 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} = 96,79 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} = 570,63 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} = 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} = 15\,420,85 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} = 473,84 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} = 14\,579,16 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} = 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} = 4\,169,11 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} = 96,79 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} = 2\,977,94 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} = \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} = 5\,134,58 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} = 19\,589,96 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma_s = 0,26 \\ &\text{parâmetro } a_i = 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i \quad 1,00 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 5134,58 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad 5120,88 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i,REF} \quad 0,6 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i,REF} \quad 3835,02 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i,REF} \quad 2301,01 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 15420,85 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 4169,11 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad 5120,88 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \text{(folha de cálculo 1.4)} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 14469,08 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad 85,66 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}
 \end{aligned}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 14579,16 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 2977,94 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i,REF} \quad 2301,01 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 15256,09 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{i,REF} \quad 90,32 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 636,70 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 6\,016,78 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 1\,626,67 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 3545,35 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div
 \end{aligned}$$

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{re,v}$ kWh/ano

=

parâmetro γ_v

parâmetro av W/°C

Factor de utilização dos ganhos η_v

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{uc} kWh/m².ano

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{v,REF})$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_v kWh/m².ano

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil \dot{N}_U	f_i	6	Eficiência Nominal η_{in}	Fator de Conversão C_{FUEL}	Necessidades de Energia Final $f_6 \cdot N_U / C_{FUEL} \cdot A_p$	Necessidades de Energia Primária $f_8 \cdot N_U / F_{POT/\eta_{in}}$	SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Límite das Necessidades de Energia ÚTIL \dot{N}_{ULIM}	f_i	Eficiência Nominal do aquecimento η_{out}	Factor de conversão C_{FUEL}	Límite das necessidades de Energia Primaria $(\dot{Q})_{PR-OUT}/A_P$
		kWh/m².ano				kWhtop/kWh	kWh/ano	kWh _{top} /m².ano			kWh/m².ano			kWh _{top} /kWh	kWh _{pr} /m².ano
Sistema 2	Gás Natural	-	1,00	-	0,87	1	16631,13	98,46	Sistema 2	Gás Natural	-	1,00	0,8%	1	105,02
		85,66	-	1	-	-	-	-			96,32	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-				-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-				-	-	-	-
Sistema por defeito	Electricidade		0,00		1	2,5	0,00	0,00	Sistema por defeito	Electricidade		0,00	1	2,5	0,00
		TOTAL					16631,13	98,46						TOTAL	105,02

G. 8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_{ue} kWh/m ² .ano	f_r	6	Eficiência Nominal η_{in}	Fator de Conversão F_{pov} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de Energia Final $f_p \cdot \delta \cdot N_{ue} / \eta_{in} \cdot A_p$ kWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_p \cdot \delta \cdot N_{ue} / \eta_{in}$ kWh _{EP} /m ² .ano	Sistema para Arrefecimento	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_{ue} kWh/m ² .ano	f_r	Eficiência Nominal de Referência η_{ref}	Fator de Conversão F_{pov} kWh _{EP} /kWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_p \cdot N_{ue} / \eta_{ref}$ kWh _{EP} /m ² .ano
		0,46	-	0	-	-	-	-			9,13	-	-	-	-
Sistema por defeito	Electricidade		1,00		2,8	2,5	0,00	0,00	Sistema por defeito	Electricidade		1,00	2,8	2,5	0,15
						TOTAL	0,00	0,00						TOTAL	0,15

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS DE REFERÊNCIA

```

graph TD
    A[CONSUMO DE AQS] --> B[40]
    B -- "x" --> C[4]
    C -- "x" --> D[160]
    D -- "x" --> E[0,9]
    E -- "x" --> F[144]
    F -- "x" --> G[365]
    G -- "x" --> H[3600000]
    H -- "x" --> I[168,92]
    I -- "x" --> J[12,67]
    J -- "x" --> K[12,67]
  
```

CONSUMO DE AQS

40

x

4

x

0,9

x

144

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS

consumo médio diário de referência M_{AQS}

144

x

4187

x

35

°C

aumento de temperatura ΔT

x

365

dias

nº de dias de consumo

3600000

x

168,92

m²

Ap

12,67

kWh/m².ano

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS $Q_{u,AQS}$

CONSUMO DE AQs DE REFERÊNCIA

n° convencional de ocupantes de cada fracção n \rightarrow 40

factor de eficiência hídrica \rightarrow 4

consumo médio diário de referência MAQS \rightarrow 160

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQs

consumo médio diário de referência M_{AQs} \rightarrow 160

aumento de temperatura ΔT \rightarrow 35

n° de dias de consumo \rightarrow 365

A_p \rightarrow 168,92

Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQs $Q_{u,AQs}$ \rightarrow 15,07

SISTEMA PARA AQS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil Q_u/A_p kWh/m ² .ano	f_a	δ	Eficiência Nominal η_b	Factor de Conversão F_{pos}	Necessidades de Energia Final $f.b.Q_u/\eta_b$ kWh/m ² .ano	Necessidades de Energia Primária $f.b.Q_u/A_p \cdot F_{pos}/\eta_b$ kWh/m ² .ano	Sistema para AQS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Final de Referência Q_u/A_p kWh/m ² .ano	f_p	Eficiência Nominal de Referência η_{ref}	Factor de Conversão F_{pos}	Límite das Necessidades de Energia Primária $f.b.Q_u/A_p \cdot F_{pos}/\eta_{ref}$ kWh/m ² .ano
Sistema 1	Gás Natural	12,67	1,00	-	0,87	1	2459,26	14,56	Sistema 1	Gás Natural	14,07	1,00	0,86	1	16,36
			-	1	-	-	-	-			-	-	-	-	-
			-		-	-	-	-			-	-	-	-	-
			-		-	-	-	-			-	-	-	-	-
Sistema por defeito	Gás Natural		0,00		0,86	1	0,00	0,00	Sistema por defeito	Gás Natural		0,00	0,86	1	0,00
						TOTAL	2459,26	14,56						TOTAL	16,36

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{vm} kWh/ano

Área útil de Pavimento A_p m²

Factor de Conversão F_{pv} kWh_{tp}/kWh
 =
 Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{tp}/m².ano

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL	Produção de Energia	E_{ren}/A_p kWh/m ² .ano	Factor de Conversão F_{pv} kWh _{tp} /kWh	Energia primária $E_{ren} \cdot F_{pv}$ kWh _{tp} /m ² .ano
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	0,00	-	-
	TOTAL			0,00

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{tp}/m².ano
 -
 Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{tp}/m².ano
 =
 Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_e kWh_{tp}/m².ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{tp}/m².ano
 =
 Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária $N_{e,lim}$ kWh_{tp}/m².ano

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} = 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} = 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} = 636,70 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} = 473,84 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &+ \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} = 96,79 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} = 570,63 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} = 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} = 15\,420,85 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} = 473,84 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} = 14\,579,16 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} = 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} = 4\,169,11 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} &0,024 \\ &\times \\ &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD = 1\,282 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ &\times \\ &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} = 96,79 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ &= \\ &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} = 2\,977,94 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} &\text{Inércia do edifício} = \text{Forte} \\ &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} = 5\,134,58 \text{ kWh/ano} \\ &+ \\ &\text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} = 19\,589,96 \text{ kWh/ano} \\ &= \\ &\text{parâmetro } \gamma_i = 0,26 \\ &\text{parâmetro } a_i = 4,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_i \quad 1,00 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \quad 5134,58 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} \quad 5120,88 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Factor de utilização dos ganhos } \eta_{i,REF} \quad 0,6 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i,REF} \quad 3835,02 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i,REF} \quad 2301,01 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 15420,85 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 4169,11 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad 5120,88 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \text{(folha de cálculo 1.4)} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 14469,08 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad 85,66 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}
 \end{aligned}$$

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 14579,16 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 2977,94 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i,REF} \quad 2301,01 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades Anuais na estação de aquecimento} \quad 15256,09 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 168,92 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{i,REF} \quad 90,32 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}
 \end{aligned}$$

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 636,70 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 501,20 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 6\,016,78 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 135,50 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 4 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &1000 \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 1\,626,67 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 3545,35 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div
 \end{aligned}$$

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{re,v}$ kWh/ano

=

parâmetro γ_v

parâmetro av W/°C

Factor de utilização dos ganhos η_v

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{uc} kWh/m².ano

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{v,REF})$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_v kWh/m².ano

Folha de Cálculo G

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil $N_{u,c}$ kWh/m ² .ano	f_i	δ	Eficiência Nominal η_h	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{hp} /kWh	Necessidades de Energia Final $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,c} / \eta_h \cdot A_p$ kWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,c} \cdot F_{pu} / \eta_h$ kWh _{hp} /m ² .ano	SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil $N_{u,c}$ kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{h,ref}$	Factor de Conversão de Referência $F_{pu,ref}$ kWh _{hp} /kWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,c} \cdot F_{pu,ref} / \eta_{h,ref}$ kWh _{hp} /m ² .ano
Sistema 2	Gás Natural	-	1,00	-	0,87	1	16631,13	98,46	Sistema 2	Gás Natural	-	1,00	0,86	1	105,03
		85,66	-	1	-	-	-	-			90,22	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
Sistema por defeito	Electricidade	-	0,00	-	1	2,5	0,00	0,00	Sistema por defeito	Electricidade	-	0,00	1	2,5	0,00
TOTAL									TOTAL						

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil $N_{u,r}$ kWh/m ² .ano	f_i	δ	Eficiência Nominal η_h	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{hp} /kWh	Necessidades de Energia Final $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,r} / \eta_h \cdot A_p$ kWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,r} \cdot F_{pu} / \eta_h$ kWh _{hp} /m ² .ano	SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil $N_{u,r}$ kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{h,ref}$	Factor de Conversão de Referência $F_{pu,ref}$ kWh _{hp} /kWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{u,r} \cdot F_{pu,ref} / \eta_{h,ref}$ kWh _{hp} /m ² .ano
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
		0,46	-	0	-	-	-	-			0,13	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
Sistema por defeito	Electricidade	-	1,00	-	2,8	2,5	0,00	0,00	Sistema por defeito	Electricidade	-	1,00	2,8	2,5	0,15
TOTAL									TOTAL						

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQ5

CONSUMO DE AQ5		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ5	
consumo médio diário de referência M_{AQ5}		144 l	
nº de ocupantes de cada fracção n		40	
factor de eficiência hídrica		0,9	
aumento médio diário de referência MAQ5		144	
aumento de temperatura ΔT		35 °C	
nº de dias de consumo		365 dias	
área de pavimento A_p		168,92 m ²	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ5 Q_{u,A_p}		12,67 kWh/m ² .ano	

SISTEMA PARA AQ5	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil Q_{u,A_p} kWh/m ² .ano	f_a	δ	Eficiência Nominal η_h	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{hp} /kWh	Necessidades de Energia Final $f_a \cdot \delta \cdot Q_{u,A_p} / \eta_h$ kWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_a \cdot \delta \cdot Q_{u,A_p} \cdot F_{pu} / \eta_h$ kWh _{hp} /m ² .ano	SISTEMA PARA AQ5	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil de Referência Q_{u,A_p} kWh/m ² .ano	f_a	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{h,ref}$	Factor de Conversão de Referência $F_{pu,ref}$ kWh _{hp} /kWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $f_a \cdot \delta \cdot Q_{u,A_p} \cdot F_{pu,ref} / \eta_{h,ref}$ kWh _{hp} /m ² .ano
Sistema 1	Gás Natural	-	1,00	-	0,87	1	2459,26	14,56	Sistema 1	Gás Natural	-	1,00	0,86	1	16,36
		12,67	-	1	-	-	-	-			12,07	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
Sistema por defeito	Gás Natural	-	0,00	-	0,86	1	0,00	0,00	Sistema por defeito	Gás Natural	-	0,00	0,86	1	0,00
TOTAL									TOTAL						

CONSUMO DE AQ5 DE REFERÊNCIA

consumo médio diário de referência M_{AQ5}		140 l	
nº convencional de ocupantes de cada fracção n		40	
factor de eficiência hídrica		1	
consumo médio diário de referência MAQ5		150 l	
aumento de temperatura ΔT		35 °C	
nº de dias de consumo		365 dias	
área de pavimento A_p		168,92 m ²	
Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQ5 Q_{u,A_p}		15,07 kWh/m ² .ano	

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{vm}	0 kWh/ano
Área útil de Pavimento A_p	168,92 m ²

Factor de Conversão F_{pv} kWh_{tp}/kWh
 =
 Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{tp}/m².ano

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL	Produção de Energia	E_{ren}/A_p kWh/m ² .ano	Factor de Conversão F_{pv} kWh _{tp} /kWh	Energia primária $E_{ren} \cdot F_{pv}$ kWh _{tp} /m ² .ano
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	0,00	-	-
	TOTAL			0,00

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{tp}/m².ano
 -
 Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{tp}/m².ano
 =
 Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_e kWh_{tp}/m².ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{tp}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{tp}/m².ano
 =
 Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária $N_{e,lim}$ kWh_{tp}/m².ano

A4.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA (REH)

Simulação		C1		C2		Valores de Cálculo					Classe
Isolamento	[mm]	Uasc	Udesc	Uasc	Udesc	Nic	Nvc	Qa	Ntc	Ntc/Nt	
		[W/(m ² c)]				kWh/m ² .ano	kWh/m ² .ano	kWh/ano	kWh/m ² .ano	–	
XPS	40	0,64	0,61	0,65	0,62	84,42	0,47	2140	111,59	0,86	B-
	80	0,38	0,37	0,38	0,37	79,39	0,45	2140	105,81	0,82	B-
	100	0,31	0,31	0,32	0,31	78,10	0,45	2140	104,33	0,81	B-
EPS	40	0,67	0,64	0,69	0,66	85,04	0,47	2140	112,31	0,87	B-
	80	0,40	0,39	0,41	0,40	79,82	0,45	2140	106,32	0,82	B-
	100	0,33	0,33	0,34	0,33	78,48	0,45	2140	104,77	0,81	B-
PUR	40	0,67	0,64	0,69	0,66	85,04	0,47	2140	112,31	0,87	B-
	80	0,40	0,39	0,41	0,40	79,82	0,45	2140	106,32	0,82	B-
	100	0,33	0,33	0,34	0,33	78,48	0,45	2140	104,77	0,81	B-
MW	40	0,67	0,64	0,69	0,66	85,04	0,47	2140	112,31	0,87	B-
	80	0,40	0,39	0,41	0,40	79,82	0,45	2140	106,32	0,82	B-
	100	0,33	0,33	0,34	0,33	78,48	0,45	2140	104,77	0,81	B-
ICB	40	0,72	0,69	0,75	0,71	86,05	0,48	2140	113,46	0,88	B-
	80	0,44	0,43	0,45	0,43	80,59	0,46	2140	107,19	0,83	B-
	100	0,37	0,36	0,37	0,36	79,20	0,45	2140	105,59	0,82	B-
Valores de Referência						Ni	Nv	Qa	Nt		
						90,32	9,13	2377	129,54		

Simulação		C1		C2		Indicadores de Desempenho			
Isolamento	[mm]	Uasc	Udesc	Uasc	Udesc	Aquecimento	Arrefecimento	AQS	Emissões
		[W/(m ² c)]				kWh/m ² .ano			ton/ano
XPS	40	0,64	0,61	0,65	0,62	97,03	0	14,56	3,81
	80	0,38	0,37	0,38	0,37	91,25	0	14,56	3,61
	100	0,31	0,31	0,32	0,31	89,77	0	14,56	3,56
EPS	40	0,67	0,64	0,69	0,66	97,75	0	14,56	3,83
	80	0,40	0,39	0,41	0,40	91,75	0	14,56	3,63
	100	0,33	0,33	0,34	0,33	90,21	0	14,56	3,58
PUR	40	0,67	0,64	0,69	0,66	97,75	0	14,56	3,83
	80	0,40	0,39	0,41	0,40	91,75	0	14,56	3,63
	100	0,33	0,33	0,34	0,33	90,21	0	14,56	3,58
MW	40	0,67	0,64	0,69	0,66	97,75	0	14,56	3,83
	80	0,40	0,39	0,41	0,40	91,75	0	14,56	3,63
	100	0,33	0,33	0,34	0,33	90,21	0	14,56	3,58
ICB	40	0,72	0,69	0,75	0,71	98,90	0	14,56	3,87
	80	0,44	0,43	0,45	0,43	92,63	0	14,56	3,66
	100	0,37	0,36	0,37	0,36	91,03	0	14,56	3,60
Valores de Referência						Aquecimento	Arrefecimento	AQS	
						105,02	3,26	16,36	

A4.4. RESULTADOS DA ACV

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental por Solução Construtiva							
Isolamento	[mm]		ADP1	GWP1	ODP1	AP1	POCP1	EP1	ENR1	ER1
Área Solução [m2]	XPS	40	5,25E+01	8,02E+03	2,71E-02	5,50E+01	3,39E+00	2,28E+00	1,25E+05	9,40E+02
		80	5,86E+01	9,47E+03	5,18E-02	5,73E+01	3,52E+00	2,46E+00	1,39E+05	1,09E+03
		100	6,17E+01	1,02E+04	6,42E-02	5,85E+01	3,59E+00	2,55E+00	1,46E+05	1,17E+03
Cobertura Sandwich	EPS	40	4,98E+01	6,89E+03	2,39E-03	5,38E+01	3,77E+00	2,20E+00	1,19E+05	8,63E+02
		80	5,33E+01	7,20E+03	2,40E-03	5,49E+01	4,28E+00	2,29E+00	1,27E+05	9,39E+02
		100	5,50E+01	7,36E+03	2,40E-03	5,55E+01	4,54E+00	2,34E+00	1,31E+05	9,77E+02
	PUR	40	5,44E+01	7,38E+03	2,38E-03	5,60E+01	3,65E+00	2,62E+00	1,30E+05	1,27E+03
		80	6,26E+01	8,18E+03	2,39E-03	5,94E+01	4,04E+00	3,14E+00	1,49E+05	1,75E+03
		100	6,66E+01	8,58E+03	2,39E-03	6,10E+01	4,23E+00	3,40E+00	1,58E+05	2,00E+03
	MW	40	5,03E+01	7,13E+03	2,40E-03	5,58E+01	3,62E+00	2,27E+00	1,19E+05	1,16E+03
		80	5,42E+01	7,68E+03	2,43E-03	5,90E+01	3,97E+00	2,44E+00	1,27E+05	1,52E+03
		100	5,62E+01	7,95E+03	2,44E-03	6,05E+01	4,14E+00	2,53E+00	1,31E+05	1,71E+03
	ICB	40	5,18E+01	6,23E+03	2,43E-03	5,55E+01	3,51E+00	2,45E+00	1,24E+05	1,51E+04
		80	5,73E+01	5,89E+03	2,48E-03	5,84E+01	3,75E+00	2,80E+00	1,37E+05	2,95E+04
		100	6,00E+01	5,71E+03	2,50E-03	5,98E+01	3,87E+00	2,97E+00	1,44E+05	3,67E+04
C1										

Área Solução [m2]	XPS	40	8,76E+00	1,48E+03	7,85E-03	3,71E+00	1,77E-01	4,10E-01	1,82E+04	4,44E+02
		80	1,07E+01	1,94E+03	1,56E-02	4,43E+00	2,17E-01	4,66E-01	2,26E+04	4,93E+02
		100	1,17E+01	2,16E+03	1,95E-02	4,80E+00	2,37E-01	4,95E-01	2,48E+04	5,17E+02
Cobertura Terraço	EPS	40	7,91E+00	1,12E+03	7,39E-05	3,33E+00	2,97E-01	3,83E-01	1,63E+04	4,20E+02
		80	9,01E+00	1,22E+03	7,65E-05	3,69E+00	4,57E-01	4,12E-01	1,88E+04	4,44E+02
		100	9,56E+00	1,27E+03	7,78E-05	3,86E+00	5,37E-01	4,27E-01	2,00E+04	4,56E+02
	PUR	40	9,37E+00	1,28E+03	7,24E-05	4,03E+00	2,58E-01	5,16E-01	1,97E+04	5,48E+02
		80	1,19E+01	1,53E+03	7,35E-05	5,08E+00	3,80E-01	6,79E-01	2,57E+04	7,01E+02
		100	1,32E+01	1,66E+03	7,40E-05	5,60E+00	4,41E-01	7,61E-01	2,86E+04	7,77E+02
	MW	40	8,06E+00	1,20E+03	7,85E-05	3,97E+00	2,47E-01	4,06E-01	1,64E+04	5,12E+02
		80	9,31E+00	1,37E+03	8,57E-05	4,95E+00	3,57E-01	4,59E-01	1,89E+04	6,28E+02
		100	9,93E+00	1,46E+03	8,93E-05	5,45E+00	4,12E-01	4,86E-01	2,02E+04	6,86E+02
	ICB	40	8,54E+00	9,18E+02	8,66E-05	3,88E+00	2,12E-01	4,63E-01	1,80E+04	4,91E+03
		80	1,03E+01	8,09E+02	1,02E-04	4,77E+00	2,88E-01	5,72E-01	2,21E+04	9,43E+03
		100	1,11E+01	7,55E+02	1,10E-04	5,22E+00	3,25E-01	6,26E-01	2,42E+04	1,17E+04
C2										

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental do Cenário de Manutenção							
Isolamento	[mm]		ADPm	GWPm	ODPm	Apm	POCPm	Epm	ENRm	Erm
B	Substituição Revestimento Exterior		3,73E+00	4,52E+02	4,84E-05	1,74E+00	8,06E-02	1,63E-01	7,05E+03	2,16E+02
	Área [m2]	29,64								
	Substituição Impermeabilização		2,35E+00	4,71E+02	1,13E-05	9,22E-01	4,22E-02	1,39E-01	5,05E+03	8,49E+01
	Área [m2]	29,64								

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental Incorporado do Edifício							
Isolamento	[mm]		ADP'e	GWP'e	ODP'e	AP'e	POCP'e	EP'e	ENR'e	ER'e
C	XPS	40	6,73E+01	1,04E+04	3,50E-02	6,14E+01	3,69E+00	3,00E+00	1,55E+05	1,69E+03
		80	7,54E+01	1,23E+04	6,75E-02	6,44E+01	3,86E+00	3,23E+00	1,73E+05	1,89E+03
		100	7,95E+01	1,33E+04	8,38E-02	6,59E+01	3,95E+00	3,35E+00	1,83E+05	1,99E+03
	EPS	40	6,38E+01	8,93E+03	2,52E-03	5,98E+01	4,19E+00	2,88E+00	1,47E+05	1,58E+03
		80	6,84E+01	9,34E+03	2,53E-03	6,13E+01	4,86E+00	3,01E+00	1,58E+05	1,68E+03
		100	7,07E+01	9,55E+03	2,54E-03	6,20E+01	5,20E+00	3,07E+00	1,63E+05	1,73E+03
	PUR	40	6,99E+01	9,58E+03	2,52E-03	6,27E+01	4,03E+00	3,44E+00	1,62E+05	2,12E+03
		80	8,06E+01	1,06E+04	2,52E-03	6,71E+01	4,54E+00	4,12E+00	1,86E+05	2,76E+03
		100	8,59E+01	1,12E+04	2,52E-03	6,93E+01	4,80E+00	4,46E+00	1,99E+05	3,07E+03
	MW	40	6,44E+01	9,25E+03	2,54E-03	6,24E+01	3,99E+00	2,98E+00	1,48E+05	1,97E+03
		80	6,96E+01	9,97E+03	2,57E-03	6,66E+01	4,45E+00	3,20E+00	1,58E+05	2,45E+03
		100	7,22E+01	1,03E+04	2,59E-03	6,86E+01	4,68E+00	3,31E+00	1,64E+05	2,70E+03
	ICB	40	6,64E+01	8,07E+03	2,58E-03	6,21E+01	3,84E+00	3,22E+00	1,54E+05	2,03E+04
		80	7,36E+01	7,62E+03	2,64E-03	6,58E+01	4,16E+00	3,67E+00	1,72E+05	3,92E+04
		100	7,72E+01	7,39E+03	2,67E-03	6,77E+01	4,31E+00	3,90E+00	1,80E+05	4,86E+04
Duração [anos]			50	Área Útil Edifício [m2]						168,92

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental Incorporado do Edifício/m2.ano							
Isolamento	[mm]		ADPe	GWPe	ODPe	Ape	POCPe	Epe	ENRe	Ere
D	XPS	40	7,97E-03	1,23E+00	4,14E-06	7,26E-03	4,37E-04	3,55E-04	1,84E+01	2,00E-01
		80	8,93E-03	1,46E+00	7,99E-06	7,62E-03	4,57E-04	3,83E-04	2,05E+01	2,23E-01
		100	9,41E-03	1,57E+00	9,92E-06	7,80E-03	4,67E-04	3,97E-04	2,16E+01	2,35E-01
	EPS	40	7,55E-03	1,06E+00	2,99E-07	7,08E-03	4,97E-04	3,41E-04	1,74E+01	1,87E-01
		80	8,10E-03	1,11E+00	3,00E-07	7,26E-03	5,76E-04	3,56E-04	1,87E+01	1,99E-01
		100	8,37E-03	1,13E+00	3,01E-07	7,34E-03	6,15E-04	3,63E-04	1,93E+01	2,05E-01
	PUR	40	8,28E-03	1,13E+00	2,98E-07	7,42E-03	4,78E-04	4,08E-04	1,91E+01	2,51E-01
		80	9,54E-03	1,26E+00	2,98E-07	7,94E-03	5,38E-04	4,88E-04	2,21E+01	3,26E-01
		100	1,02E-02	1,32E+00	2,99E-07	8,20E-03	5,68E-04	5,29E-04	2,35E+01	3,64E-01
	MW	40	7,63E-03	1,09E+00	3,01E-07	7,39E-03	4,72E-04	3,53E-04	1,75E+01	2,33E-01
		80	8,24E-03	1,18E+00	3,04E-07	7,88E-03	5,26E-04	3,79E-04	1,87E+01	2,90E-01
		100	8,55E-03	1,22E+00	3,06E-07	8,13E-03	5,54E-04	3,92E-04	1,94E+01	3,19E-01
	ICB	40	7,87E-03	9,56E-01	3,05E-07	7,35E-03	4,55E-04	3,81E-04	1,83E+01	2,41E+00
		80	8,72E-03	9,02E-01	3,13E-07	7,79E-03	4,92E-04	4,35E-04	2,03E+01	4,64E+00
		100	9,15E-03	8,75E-01	3,16E-07	8,01E-03	5,11E-04	4,62E-04	2,14E+01	5,76E+00

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental Associado ao Consumo Energético Utilização/m2.ano							
Equipamento	Rendimento		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
Aquecimento	0,87		2,25E-03	2,72E-01	3,58E-08	2,39E-04	2,96E-05	2,29E-05	4,65E+00	1,63E-02
Arrefecimento	—		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AQS	0,87		2,25E-03	2,72E-01	3,58E-08	2,39E-04	2,96E-05	2,29E-05	4,65E+00	1,63E-02
Simulação			kWh/m2.ano			CO2 (ton/ano)				
Isolamento	[mm]		Aquecimento	Arrefecimento	AQS	Emissões				
XPS	40		98,46	0	14,56	3,86				
	80		92,68	0	14,56	3,66				
	100		91,19	0	14,56	3,61				
EPS	40		99,17	0	14,56	3,88				
	80		93,17	0	14,56	3,68				
	100		91,63	0	14,56	3,62				
PUR	40		99,17	0	14,56	3,88				
	80		93,17	0	14,56	3,68				
	100		91,63	0	14,56	3,62				
MW	40		99,17	0	14,56	3,88				
	80		93,17	0	14,56	3,68				
	100		91,63	0	14,56	3,62				
ICB	40		98,9	0	14,56	3,92				
	80		94,05	0	14,56	3,71				
	100		92,46	0	14,56	3,65				

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental Associado ao Consumo Energético Utilização/m2.ano							
Isolamento	[mm]		ADPo	GWPo	ODPo	Apo	POCPo	Epo	ENRo	ER o
E	XPS	40	5,49E-02	6,64E+00	8,74E-07	5,83E-03	7,22E-04	5,59E-04	1,13E+02	3,98E-01
		80	5,36E-02	6,48E+00	8,53E-07	5,69E-03	7,05E-04	5,46E-04	1,11E+02	3,88E-01
		100	5,33E-02	6,44E+00	8,48E-07	5,66E-03	7,01E-04	5,42E-04	1,10E+02	3,86E-01
	EPS	40	5,51E-02	6,66E+00	8,76E-07	5,85E-03	7,25E-04	5,61E-04	1,14E+02	3,99E-01
		80	5,37E-02	6,49E+00	8,55E-07	5,71E-03	7,07E-04	5,47E-04	1,11E+02	3,89E-01
		100	5,34E-02	6,45E+00	8,49E-07	5,67E-03	7,02E-04	5,43E-04	1,10E+02	3,87E-01
	PUR	40	5,51E-02	6,66E+00	8,76E-07	5,85E-03	7,25E-04	5,61E-04	1,14E+02	3,99E-01
		80	5,37E-02	6,49E+00	8,55E-07	5,71E-03	7,07E-04	5,47E-04	1,11E+02	3,89E-01
		100	5,34E-02	6,45E+00	8,49E-07	5,67E-03	7,02E-04	5,43E-04	1,10E+02	3,87E-01
	MW	40	5,51E-02	6,66E+00	8,76E-07	5,85E-03	7,25E-04	5,61E-04	1,14E+02	3,99E-01
		80	5,37E-02	6,49E+00	8,55E-07	5,71E-03	7,07E-04	5,47E-04	1,11E+02	3,89E-01
		100	5,34E-02	6,45E+00	8,49E-07	5,67E-03	7,02E-04	5,43E-04	1,10E+02	3,87E-01
	ICB	40	5,50E-02	6,65E+00	8,75E-07	5,84E-03	7,24E-04	5,60E-04	1,14E+02	3,99E-01
		80	5,39E-02	6,52E+00	8,58E-07	5,73E-03	7,09E-04	5,49E-04	1,11E+02	3,91E-01
		100	5,36E-02	6,48E+00	8,52E-07	5,69E-03	7,05E-04	5,45E-04	1,11E+02	3,88E-01

Simulação			Indicadores de Impacte Ambiental Total do Ciclo de Vida do Edifício							
Isolamento	[mm]		ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
F	XPS	40	6,30E-02	7,88E+00	5,02E-06	1,31E-02	1,16E-03	9,15E-04	1,32E+02	5,98E-01
		80	6,29E-02	7,98E+00	8,85E-06	1,34E-02	1,17E-03	9,32E-04	1,32E+02	6,14E-01
		100	6,30E-02	8,05E+00	1,08E-05	1,35E-02	1,17E-03	9,42E-04	1,32E+02	6,23E-01
	EPS	40	6,26E-02	7,71E+00	1,17E-06	1,29E-02	1,22E-03	9,01E-04	1,31E+02	5,86E-01
		80	6,20E-02	7,62E+00	1,16E-06	1,30E-02	1,29E-03	9,05E-04	1,30E+02	5,90E-01
		100	6,19E-02	7,61E+00	1,15E-06	1,30E-02	1,32E-03	9,08E-04	1,30E+02	5,93E-01
	PUR	40	6,33E-02	7,78E+00	1,17E-06	1,33E-02	1,20E-03	9,67E-04	1,33E+02	6,50E-01
		80	6,35E-02	7,78E+00	1,16E-06	1,37E-02	1,25E-03	1,04E-03	1,34E+02	7,17E-01
		100	6,37E-02	7,80E+00	1,15E-06	1,39E-02	1,27E-03	1,07E-03	1,34E+02	7,52E-01
	MW	40	6,26E-02	7,75E+00	1,18E-06	1,32E-02	1,20E-03	9,13E-04	1,31E+02	6,32E-01
		80	6,22E-02	7,70E+00	1,16E-06	1,36E-02	1,24E-03	9,28E-04	1,30E+02	6,81E-01
		100	6,21E-02	7,70E+00	1,16E-06	1,38E-02	1,26E-03	9,37E-04	1,30E+02	7,07E-01
	ICB	40	6,29E-02	7,61E+00	1,18E-06	1,32E-02	1,18E-03	9,41E-04	1,32E+02	2,81E+00
		80	6,26E-02	7,42E+00	1,17E-06	1,35E-02	1,20E-03	9,84E-04	1,32E+02	5,03E+00
		100	6,27E-02	7,35E+00	1,17E-06	1,37E-02	1,22E-03	1,01E-03	1,32E+02	6,15E+00